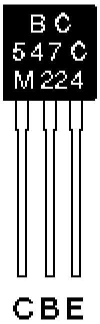
Transistors الترانزستور

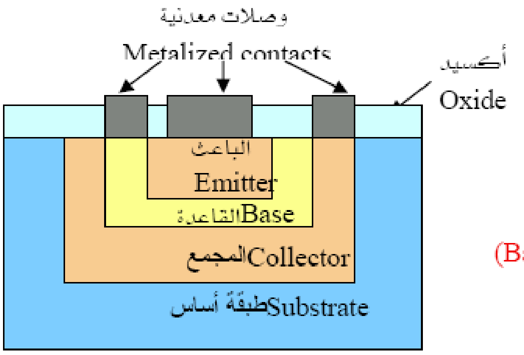


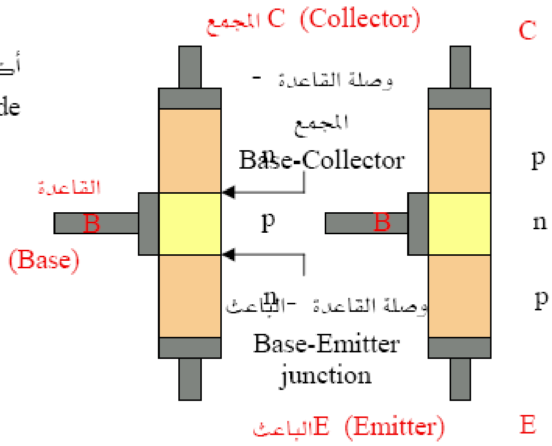
عندما تضاف طبقة ثالثة للثنائي بحيث يتشكل لدينا وصلتين، فان الناتج هو عنصر جديد يطلق علية "الترانزستور"، ويتمتع الترانزستور بقدرة عالية على تكبير الإشارات الالكترونية، وهذا بالرغم من حجمه الصغير .

وصف الترانزيستور :

الترانزيســتور هــو عنصُر لهُ ثلاثة أطراف تخرُج منهُ . و هي القاعدة B و المجمّع C و الباعث E .. فيما يلي رسم لترانزيستور من النوع BC547 مكبّر أربع مرات.

البنية الداخلية الأساسية:





أنواع الترانزستور BJT:

هناك نوعين من الترانزستور يختلف كل واحد في تركيبه وهما كالتالي:

١- الترانزستور PNP :

يحتوى الترانزستور PNP على ثلاثة طبقات، اثنتان موجبتان P وبينهما طبقة سالبة N ليتكون بذلك الترانزستور PNP .



شكل الترانزستور PNP

٢- الترانزستور NPN :

يحتوى الترانزستور NPN على ثلاثة طبقات اثنتان سالبتان N وبينهما واحدة موجبة P ليتكون بذلك الترانزستور NPN



شكل الترانزستور NPN

يحتوى كل ترانزستور على ثلاث أطراف وهي كما يلي :

١- المشع Emitter : وهو الجزء المختص بإمداد حاملات الشحنة وهي الفجوات في حالة الترانزستور PNP والالكترونات في الترانزستور NPN ويوصل المشع أماميا (forward) بالنسبة للقاعدة وبذلك فهو يعطي كمية كبيرة من حاملات الشحنة عند توصيلة .

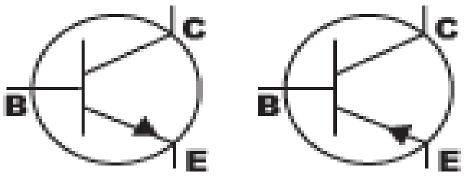
٢- المجمع Collector : ويختص هذا الجزء من الترانزستور بتجميع حاملات الشحنة القادمة من المشع، ويوصل عكسيا (reverse) مع القاعدة .

٣- القاعدة Base : وهي عبارة عن الجزء الأوسط بين المشع والمجمع ويوصل أماميا (forward) مع المشع، وعكسيا (reverse) مع المجمع .

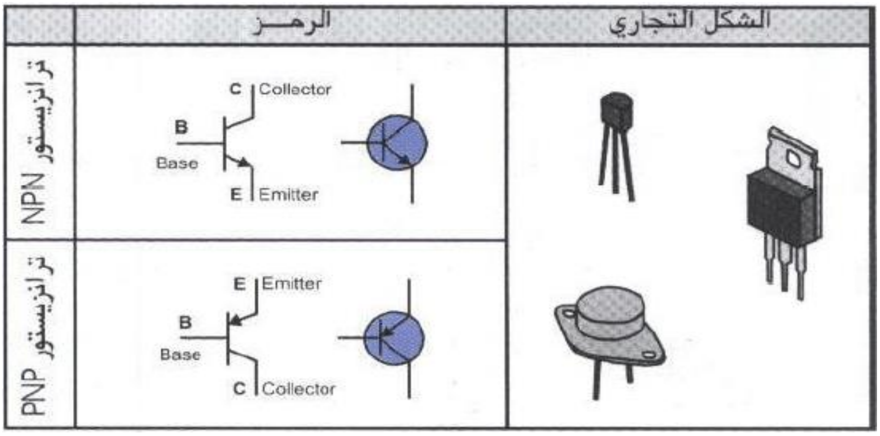
رموز الترانزستور :

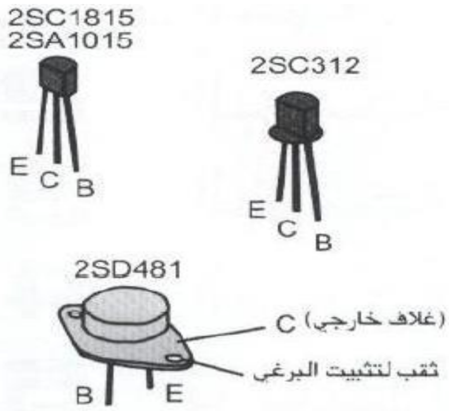
هناك رمزين للترانزستور والسهم يدل على نوعه كما بالشكل:

يدل السهم على نوع الترانزستور فالسهم الخارج يدل على ترانزستور NPN ، والداخل يدل على ترانزستورPNP



NPN PNP







ترانزستور معدني



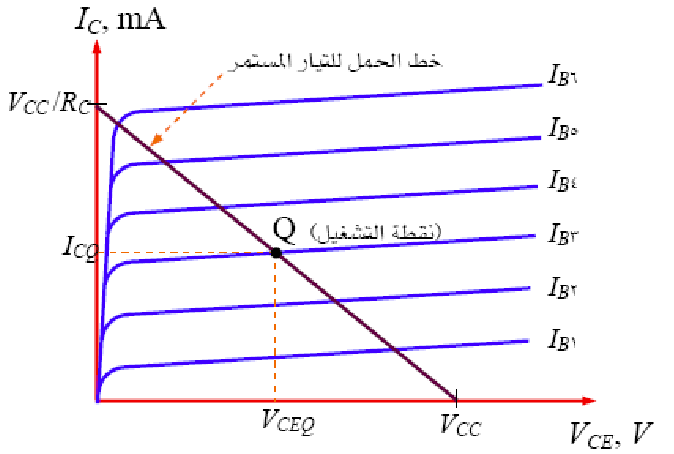
ترانزستور عادي

2	S	C		1815
تشير إلى أن العنصر هو ترانزستور	للإشارة إلى أن العنصر هو نصف ناقل	A	ترانزيستور نوع PNP لتطبيقات الترددات العالية	رقم مضاف بغرض تمييز المنتج
		B	ترانزيستور نوع PNP لتطبيقات الترددات المنخفضة	
		C	ترانزيستور نوع NPN لتطبيقات الترددات العالية	
		D	ترانزيستور نوع NPN لتطبيقات الترددات المنخفضة	

خصائص الترانزستور :

يوصل الترانزستور تيارا في الاتجاه الأمامي ولا يوصل تيارا في الاتجاه العكسي ومنطقة التوصيل تنقسم إلى ثلاث مناطق :

المنطقة الأولى: وهي منطقة القطع التي لا يمر فيها تيار في مجمع Base الترانزستور .



المنطقة الثانية: وهي منطقة التكبير أو المنطقة الفعالة أو منطقة التشغيل الخطية للترانزستور .

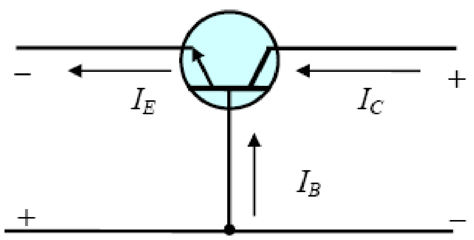
المنطقة الثالثة: وهي منطقة التشبع التي يمر فيها أكبر تيار في مجمع الترانزستور Base

في المنطقة الأولى والثالثة يعمل الترانزستور كمفتاح ، وفي المنطقة الثانية يعمل الترانزستور كمكبر .

طرق توصيل الترانزستور :

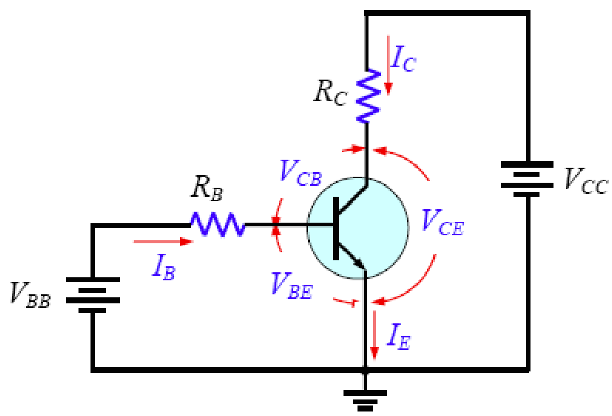
يوصل أحد أطراف الترانزستور بإشارة الدخل والطرف الثاني يوصل بإشارة الخرج ويشترك الطرف الثالث بين الدخل والخرج ، ولهذا يوصل الترانزستور في الدوائر الالكترونية بثلاث طرق مختلفة .

القاعدة المشتركة Common Base:



يتم توصيل إشارة الدخل بين المشع والقاعدة Emitter and Base ، وتوصل إشارة الخرج بين المجمع والقاعدة Collector and Base ويلاحظ أن طرف القاعدة Base مشتركاً بين الدخل والخرج ، ولهذا سميت طريقة التوصيل هذه بالقاعدة المشتركة Common Base .

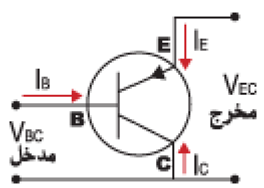
المشع المشترك Common Emitter:



توصل إشارة الدخل بين القاعدة والمشع Emitter and Base، وتوصل إشارة الخرج بين المجمع والمشع Base and Emitter ويلاحظ أن طرف المشع Emitter مشتركا بين الدخل والخرج، ولهذا سميت طريقة التوصيل هذه بالمشع المشترك Common Emitter.

الشكل يبين ترانزستور موصل بطريقة المشع المشترك Common Emitter

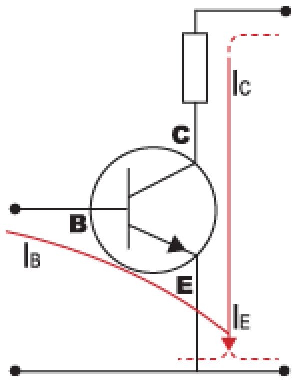
المجمع المشترك Common Collector:



توصل إشارة الدخل بين القاعدة والمجمع Collector and Base، وتوصل إشارة الخرج بين المشع والمجمع Base and Emitter ويلاحظ أن طرف المجمع Collector مشتركا بين الدخل والخرج، ولهذا سميت طريقة التوصيل هذه بالمجمع المشترك.

بعض الحقائق عن الترانزستور :

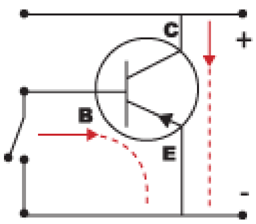
- طبقة القاعدة Base في الترانزستور تكون رقيقة جدا يليها المشع Emitter أكبرهم المجمع. Collector
- يكون المشع Emitterمشبعا بحاملات الشحنة بحيث يمكنه إمداد عدداً هائلا منها أما القاعدة Base فتكون خفيفة التشبع وتعمل على إمرار غالبية الشحنات القادمة من المشع Emitter إلى المجمع Collector ويكون المجمع متوسط التشبع.
- وصلة المشع مع القاعدة Emitter-Base تكون أمامية Forward دائما أما وصلة المجمع مع القاعدة Collector-Base فتكون عكسية. Reverse



الشكل يبين اتجاهات التيار (الفجوات) في الترانزستورNPN

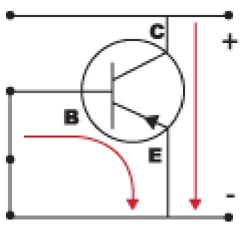
- يتميز المشع Emitter عن بقية أطراف الترانزستور بوجود سهم علية ، يشير السهم إلى اتجاه التيار (الفجوات) ، ففي نوع PNPنجد أن التيار) الفجوات) يتدفق خارجاً من المشع Emitter أما في النوع NPN نجد أن التيار يتجه داخلا إلى المشع. Emitter

هناك مساران للتيار في دوائر الترانزستور:



المسار الأول: المجمع Collector – المشع Emitter.

فإذا سلط فرق جهد بين مجمع Collector ومشع Emitter ترانزستور من النوع PNP بحيث يكون المجمع Collector موجبا بالنسبة للمشع Emitter وتركت دائرة القاعدة Base – المشع Emitter مفتوحة فسوف لا يمر تيار لا في دائرة المجمع Collector – المشع Emitter ولا في دائرة القاعدة Base – المشع Emitter .



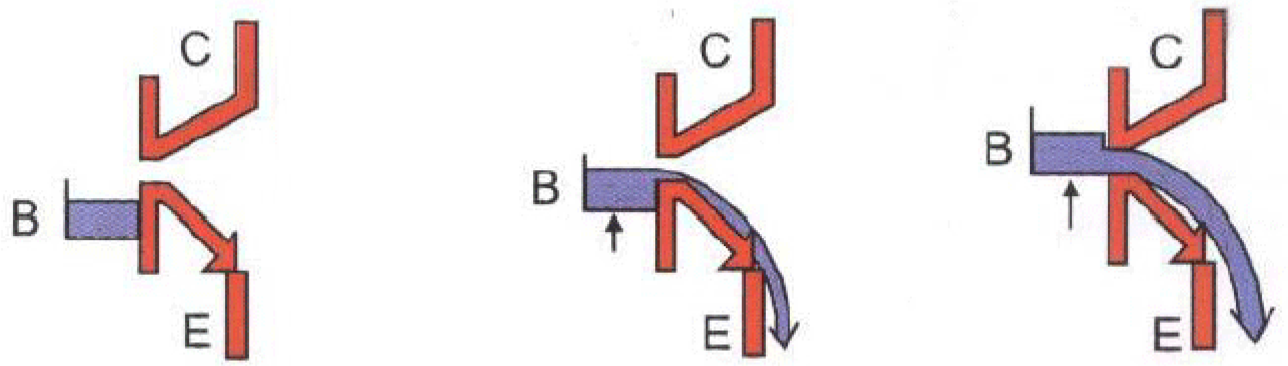
المسار الثاني: القاعدة Base – المشع Emitter.

إذا سلط جهد انحياز أمامي على دائرة القاعدة Base – المشع Emitter قيمته (0,7) فولت فان عدد من الالكترونات تترك المشع Emitter بسبب جهد الانحياز الأمامي بين القاعدة Base والمشع Emitter متجهة نحو القاعدة Base .

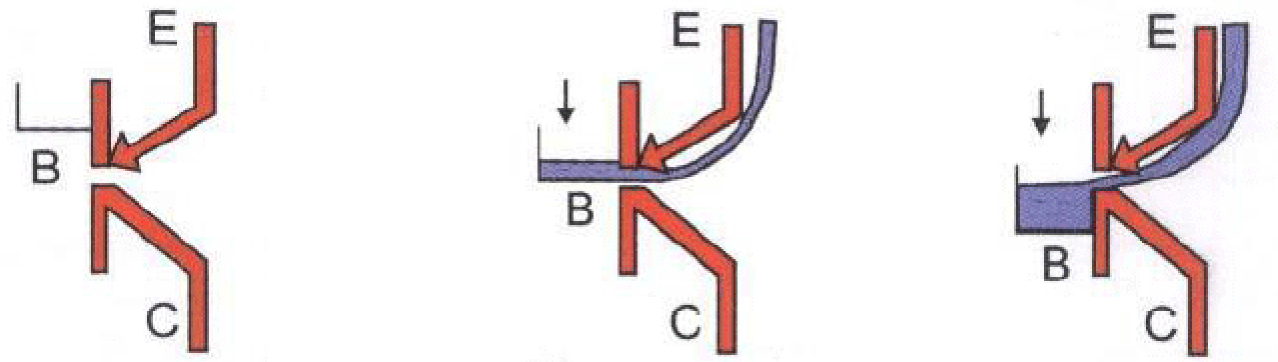
وحيث أن القاعدة Base غير مشبعة بالشحنات ورقيقة جدا (1 1000 من الميلي متر) ، لذلك فان عدد الالكترونات التي تتحد بالفجوات في القاعدة Base يكون قليلا جدا لا يتعدى 1 % من الكترونات المشع Emitter التي تتجه نحو القاعدة Base.

يقوم الجهد الموجب للمجمع Collector بجذب هذه الالكترونات نحوه لتكون التيار المار في دائرة المجمعCollector المشع Emitter.

ترانزستورات NPN... ارفع الوعاء (القاعدة) والذي يحوي الماء، عندما يصبح مستواه أعلى من جدار (حاجز) الباعث فإن الماء سيتدفق نحو الباعث. وسيتدفق تيار المجمع أيضا بشكل تناسبي.

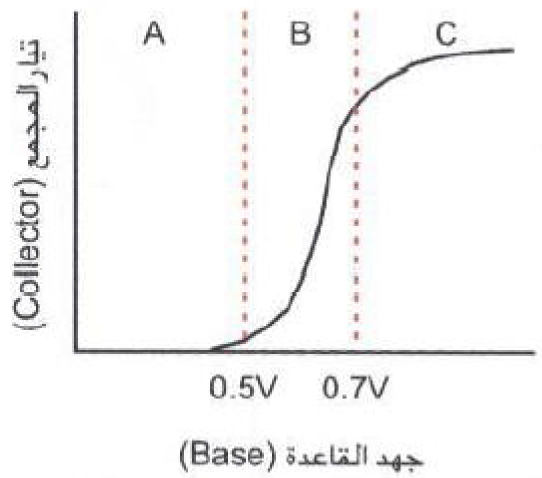


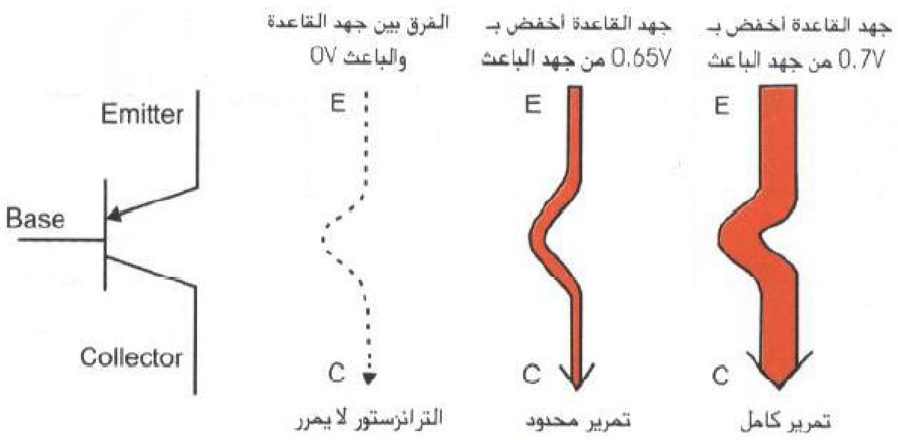
ترانزستورات PNP... قم بتخفيض الوعاء (القاعدة) الخالي من الماء. عندما يصبح مستواه أخفض من جدار الباعث فإن الماء سيتدفق إلى الوعاء من الباعث. سيتدفق تيار المجمع بشكل تناسبي أيضا.



مما سبق نستنتج أن:

- يكون الترانزستور في حالة قطع إذا كان جهد القاعدة – المشع أقل من 0.7 فولت في حالة ترانزستورات السيلكون ، 0.3 فولت في حالة ترانزستورات الجرمانيوم.
- في الوقت الذي يكون فيه جهد القاعدة – المشع يساوى من 0.7 فولت في ترانزستورات السيلكون يتزايد تيار المجمع بتزايد تيار القاعدة.
- تيار القاعدة أصغر بكثير من تيار المجمع ولكنه يتحكم فيه، أي أن النقص القليل في تيار القاعدة يناظره نقص كبير في تيار المجمع والزيادة القليلة في تيار القاعدة يناظرها زيادة كبيرة في تيار المجمع .
- ولهذا تدخل الإشارة صغيرة إلى دائرة القاعدة – المشع وتخرج كبيرة من دائرة المجمع – المشع





وظيفة الترانزيستور: يستعمل الترانزيستور كعنصر كهربائي فعال وذلك كمكبر أو مفتاح وهناك نوعان منه :

الأول وهو أكثر استعمالاً - ترانزيستور ثنائي القطبية (bipolar)، حيث يسري تيار الحمل خلال عدة مناطق به .

والنوع الثاني هو أحادي القطبية (unipolar)، والذي يسري به التيار خلال منطقة واحدة فقط كترانزيستور FET مثلا ، أي ترانزيستور تأثير المجال . ويتأثر فيه مجالاً كهربائياً عن طريق قناة نصف موصلة للتيار.

ويتكون ثنائي القطبية من ثلاثة طبقات تحد قريباً على بعضها البعض للمواد النصف ناقلة حيث إذا مر تيار في أحد هذه الطبقات فيؤثر على الطبقة الأخرى .

وهناك ما يسمى بتقنية الترانزستورات أو منطق الترانزيستور - ترانزيستور (TTL)التي تستعمل في "تقنية الرقميات (DIGITAL) في الحاسب مثلا ، وهي تسلسل من الترانزستورات تعمل كمفاتيح منطقية رقمية أو لتخزين المعلومات الرقمية .

كيفيّة استخدامه:

- إذا وصلتَ منبع جهد بين الطرفين C و E فلن يسمح الترانزيستور بمرور أي تيّار (لشكل١)
- لكِن يوجد وصلة بين B و E، فإذا أراد أحدهُم جعل التيّار يسري بين B و E فلا بُدَّ أن يستخدِم هذا الشخص منبع للجهد و مقاومة (الشكل ٢)

• إذا جعلتَ التيّار Ib يسري بين B و E ، عندئذٍ ستسمح المقاومة بتمرير التيّار Ib . Ic=β بين C و E (الشكل ٣)، في هذهِ الحالة تكون β بحدود ١٠٠ ..

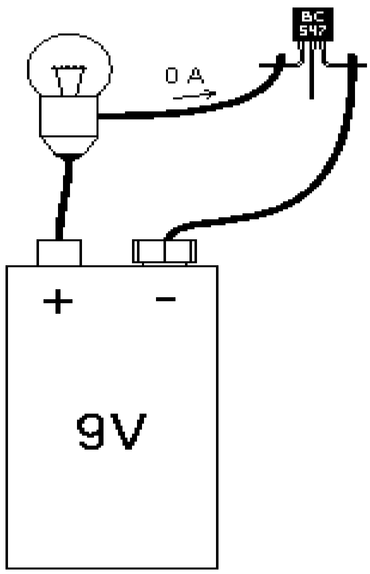


Fig. 1

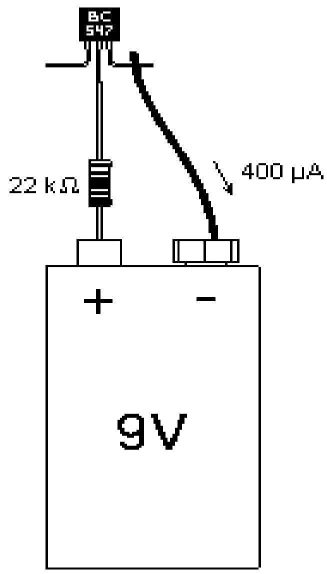


Fig. 2

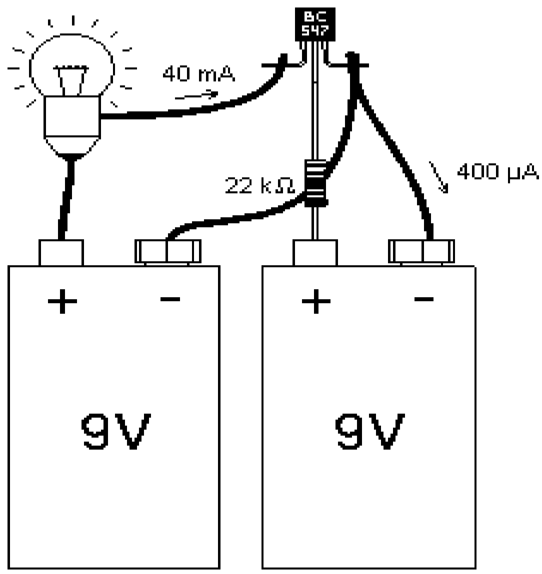


Fig. 3

المخطّطات الكهربائية الموافقة للأشكال ١ و ٢ و ٣ هي الأشكال ٤ و ٥ و ٦ ..

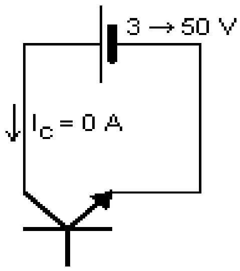


Fig. 4

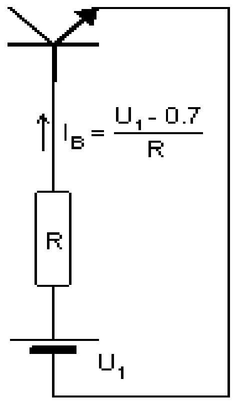


Fig. 5

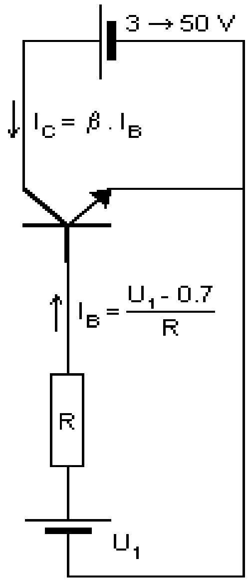


Fig. 6

ملاحظة : إذا أردتَ تجريب هذهِ الدارات يمكنكَ استخدام بطاريّة V٩ واحدة بدلاً من اثنتين (الأشكال ٧ و ٨) .

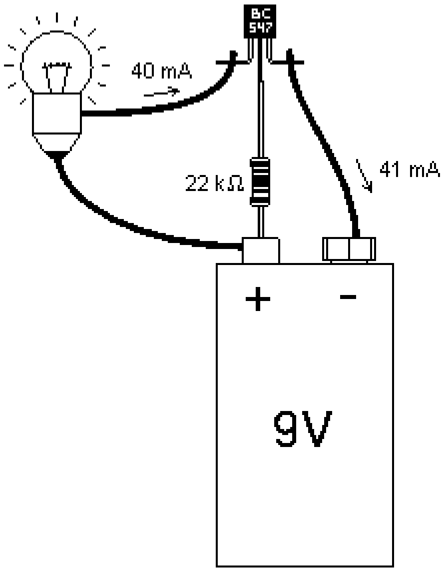


Fig. 7

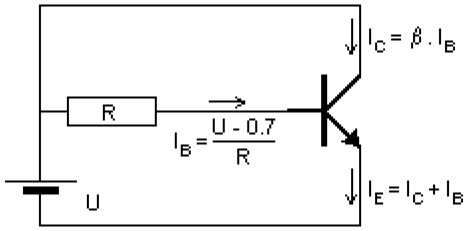
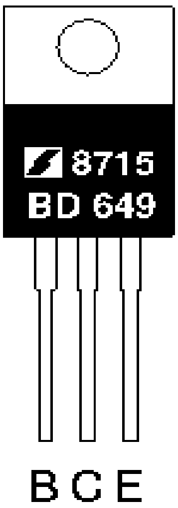


Fig. 8

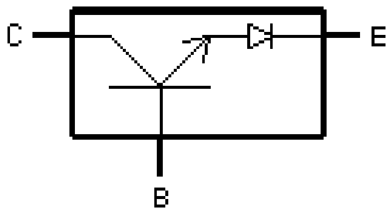
انتبِه للقطبية: ضع الأسلاك الموجبة والسالبة في مواقِعها الصحيحة ، فاتجاه التيّار هام جداً في الترانزيستور ..

الترانزيستور BC547 ضعيفٌ إلى حد ما لجعل مصباح يُضيء ، ستحصَل على نتائِج أفضل باستخدام ترانزيستور أقوى، مثل BD649 . و فيما يلي رسم له مكبَّر مرتين ..



في البداية، قد تحصَل معكَ أخطاء في توصيلات الأسلاك ستؤدي إلى جعل الترانزيستور يبدِّد الكثير من الحرارة، و قد تحرِق العديد من الترانزستورات، هذا أمرٌ طبيعي ..

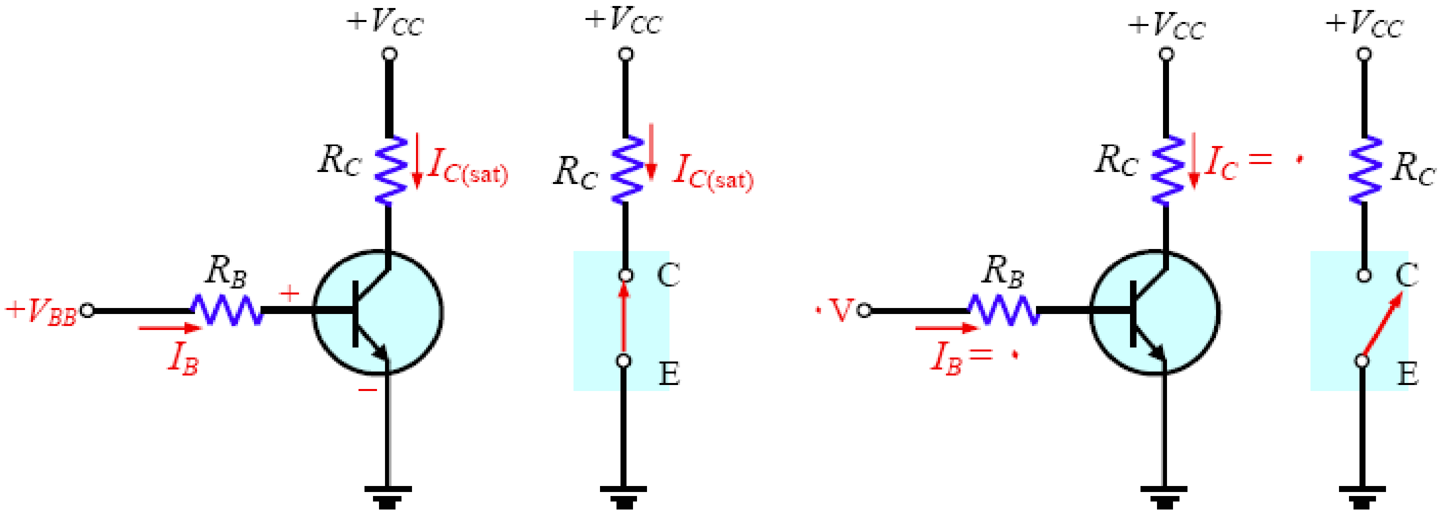
و السبب في إنقاص ٠,٧Volt من الجهد (UBE) هو أنَّ الترانزيستور ثُنائي القطبيّة يحوي بداخلِهِ ديود "طفيلي" .. ومقدار الجهد الذي ينبغي طرحُهُ يعتمِد على نوع نصف الناقِل: ٠,٧V من أجل السيلكون ، و ٠,٢V من أجل الجرمانيوم .



الترانزستور كقاطع إلكتروني:

يتم توصيل الترانزستور في الدارات الإلكترونية ليستخدم كمفتاح لقيادة الأحمال التي هي في خرجه وذلك كوسيط بن مرحلة التحكم بالحمل والحمل.

في هذه الحالة يعمل الترانزستور بين القطع والإشباع فقط، وتتعلق استطاعة الترانزستور باستطاعة التيار الذي يستهلكه الحمل المستمر.



يوجد تصنيفان للترانزستور بشكل عام وهما :

١- Junction Transistor Bipolar

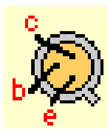
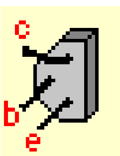
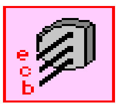
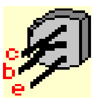
ويطلق عليه اختصارا BJT والكلمة معناها أن كلا من الإلكترونات والفجوات holes تستخدم كحاملات للتيار.
وهذا النوع أيضا يعتبر من العناصر الذي يتحكم فيها بواسطة تيار الدخل Current Controlled أي أن تيار الخرج يعتمد على تيار الدخل.

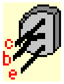
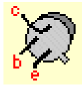
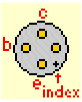
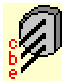
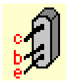
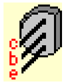
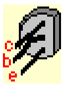
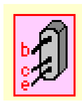
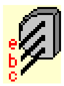
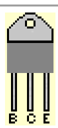
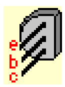
٢- Junction Transistor Unipolar

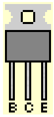
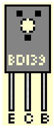
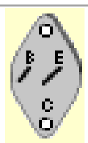
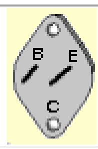
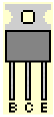
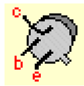
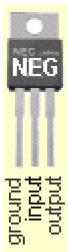
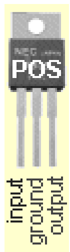
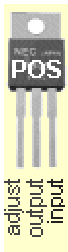
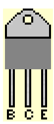
ويطلق عليه أيضا FET اختصارا لـField Effect Transistor أي أن التيار المار خلاله يتحكم فيه بالجهد المسلط على البوابة gate (أحد أطراف الترانزستور من هذا النوع) .
وفيه تكون الإلكترونات أو الفجوات (أحدهما) هي حاملة التيار.

أطراف الترانزستورات الشائعة

يمكن الرجوع إلى الأشكال الموضحة بالجدول التالي من اجل معرفة تسلسل أقطاب الترانزستور وفقاً لنوعه:

NPN	PNP	الشكل	NPN	PNP	الشكل
BC107 BC108 BC109	BC177 BC178 BC179		BC147 BC148 BC149	BC157 BC158 BC159	
BC167 BC168	BC257 BC258		BC171 BC172	BC251 BC252	

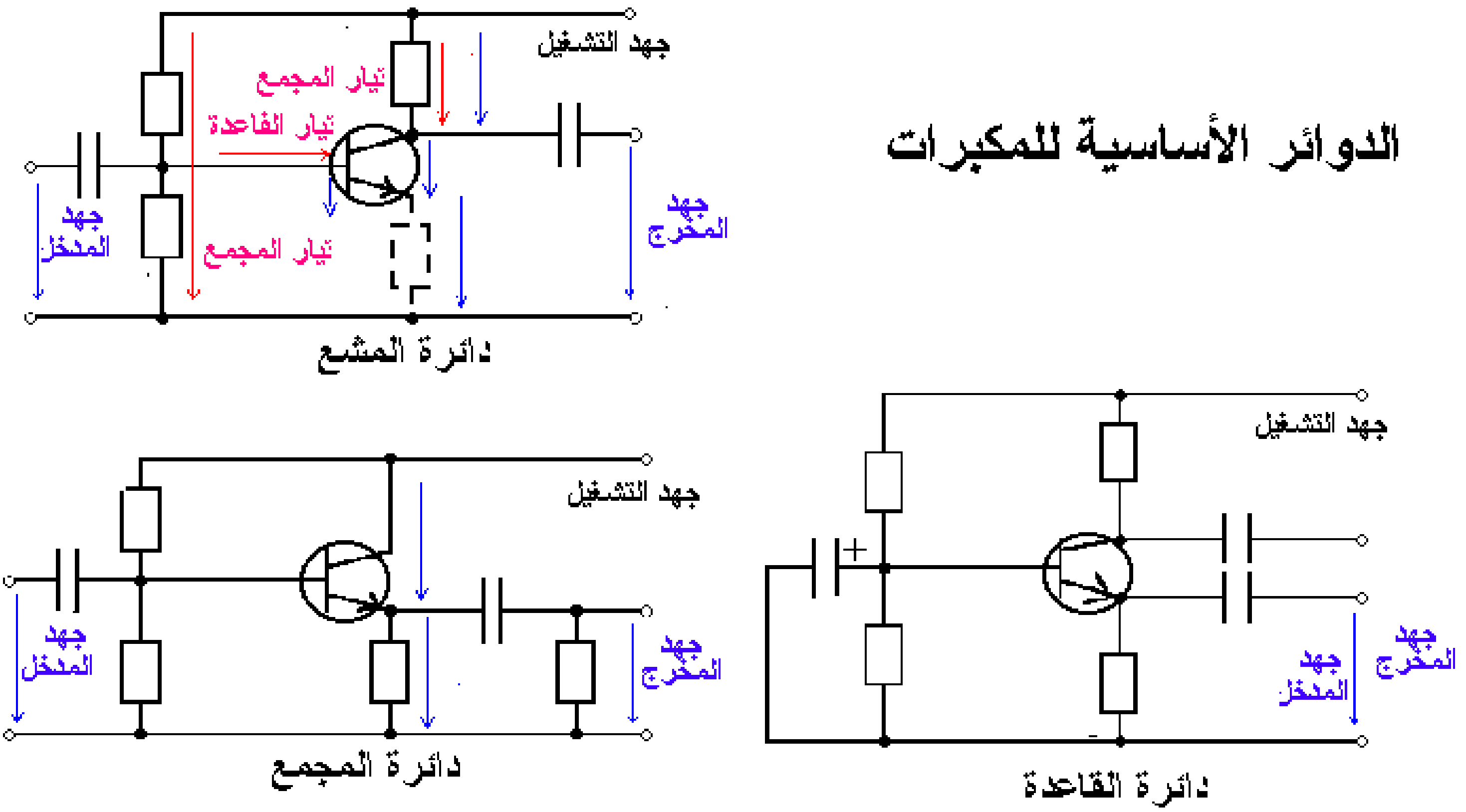
	BC253 BC212 BC213 BC214	BC173 BC182 BC183 BC184		BC259	BC169
	BC307 BC308 BC309	BC237 BC238 BC239		BC204 BC205 BC206	BC207 BC208 BC209
	BC417 BC418 BC419	BC407 BC408 BC409		BC320 BC321 BC322 BC327 BC350 BC351 BC352	BC317 BC318 BC319 BC337 BC347 BC348 BC349 BC382 BC383 BC384
		BC437 BC438 BC439		BC415 BC416	BC413 BC414
	BC557 BC558 BC559 BC512 BC513 BC514	BC547 BC548 BC549 BC582 BC583 BC584			BC467 BC468 BC469
	2N3905 2N3906	2N3903 2N3904		BC261 BC262 BC263	
	TIP2955	TIP3055		9012 9015	9013 9014

	MJE 2955T BD266A TIP32A TIP42A	MJE 3055T BD267A TIP31A TIP41A		BD132 BD140 BD262	BD131 BD139 BD263
		2N3054		MJ2955	2N3055
	Darlington TIP126 TIP137	Darlington TIP121 TIP132			2N2222A
		Negative Voltage Regulator 1amp 7905 7912		Positive Voltage Regulator1amp 7805 7812 LM2940	
		Positive Voltage Regulator 100mA 78L05 78L12		Positive Voltage Regulator Adjustable LM317(1.5amp) LM350(3amp)	
	Darlington TIP146	Darlington TIP141			Negative Voltage Regulator 100mA 79L05 79L12

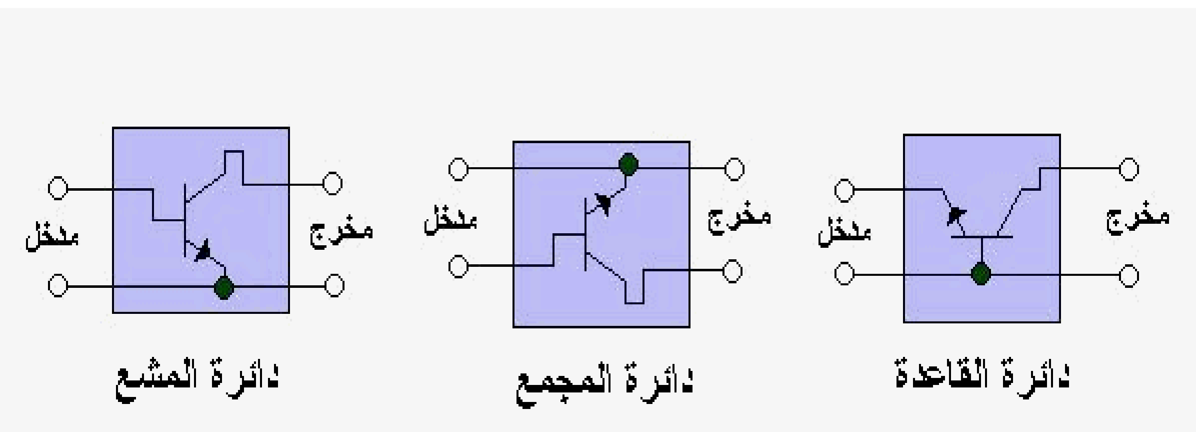
الدوائر الأساسية للمكبرات

لأسباب التكبير و"الملائمة" بين المراحل (ملائمة قدرة، ملائمة جهد، ملائمة تيار، ملائمة مقاومة ...) تستعمل الدوائر الأساسية للمكبرات.

وهناك ثلاثة وصلات مكبرة : *" وصلة المشع"* ، وتستغل لتكبير الجهد والقدرة وعامل تكبيرها للجهد من ١٠٠ إلى ١٠٠٠ ، و *"وصلة المجمع"* فهي لا تكبر الجهد وعامل تكبيرها للتيار من ٢٠ إلى ٥٠٠ وتستغل لملائمة المقاومة ، و *"وصلة القاعدة"* وأقوى ما تكبره هي التيار ثم الجهد ، وتستغل في الترددات العالية .



وللتميز بينهم (تخطيطياً) فلكل مكبر ٤ وصلات: وصلتان للمدخل ووصلتان للمخرج، ولكن الترانزيستور له ثلاثة وصلات، والوصلتان المشتركتان له للمدخل وللمخرج هي الذي تعطي الدائرة الاسم.



معطيات الوصلات الأساسية للترانزستورات

	مشع	مجمع	قاعدة
مقاومة التيار المتردد للمدخل	من ١٠٠ أوم إلى ١٠ كيلوآوم	من ١٠ إلى ١٠٠ كيلوآوم	من ١٠٠ أوم إلى ١٠ كيلو أوم
مقاومة التيار المتردد للمخرج	من ١ كيلوآوم إلى ١٠ كيلوآوم	من ١٠٠ أوم إلى ١٠ كيلو أوم	من ١٠ إلى ١٠٠ كيلوآوم
عامل تكبير الجهد	من ٢٠ إلى ١٠٠ ضعف	١	من ١٠٠ إلى ١٠٠٠ ضعف
عامل تكبير التيار	من ١٠ إلى ٥٠ ضعف	من ١٠ إلى ٤٠٠٠ ضعف	١>
دوران طور الموجة	١٨٠°	٠°	٠°
عامل تكبير القدرة	كبير جداً	صغير	صغير
التأثير بالحرارة	كبير	صغير	صغير
استعمال	المكبرات السمعية، مكبرات عالية التردد، مكبرات القدرة مفتاح	ملائمة ، معاوقة	مكبرات عالية التردد

- المعاوقة: (مفاعله حثيه + مفاعله سعة + مقاومة أومية) ..

تصنيف المضخمات الترانزستورية

غالبا ما تظهر الحاجة من أجل تضخيم إشارة ذات تشويه أصغري ، تحت هذه الظروف فان العناصر الفعالة تستوجب العمل بشكل خطي .

إن المجال الترددي للمضخمات يمتد على بضع دورات في الثانية (وهو ما يسمى بالهرتز) أو من المحتمل إن يمتد من الصفر حتى عشرات الميغا هرتز.

إن الدافع الرئيسي لدراسة مضخمات ذات حزمة عريضة بسبب حاجتها لتضخيم النبضات التي تحدث في إشارة التلفزيون لذلك فان مضخمات كهذه غالبا ما يشار إليها بمضخمات الفيديو.

وصفت المضخمات بعدة طرق وذلك وفقا: للمجال الترددي، وطريقة العمل، والاستخدام الأساسي ونوع الحمل، وطريقة الربط الداخلي بين المراحل الخ........

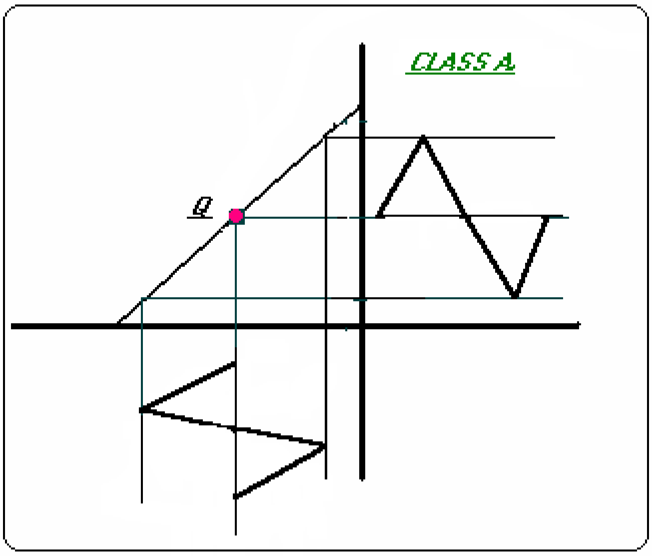
يتضمن التصنيف الترددي ما يلي:

- مضخمات التردد المستمر (أي التردد الصفري)
- مضخمات الترددات السمعية (٢٠ HZ to 20 KHZ) و يرمز لها AF
- مضخمات الترددات الفيديوية والنبضية (تصل حتى بضعة ميغا هرتز) و يرمز لها VF
- مضخمات التردد الراديو (KHZ TO HUNDRED OF MHZ) و يرمز لها RF
- مضخمات الترددات فوق العالية (مئات أو آلاف MHZ) و يرمز لها UHF

إن موقع النقطة الساكنة ومجال الميزات المستخدمة يحدد طريقة العمل ، فيما إذا كان الترانزستور أو الصمام يعمل كمضخم من صنف A OR B OR AB OR C ويتحدد ذلك من خلال نقاط التعارف التالية :

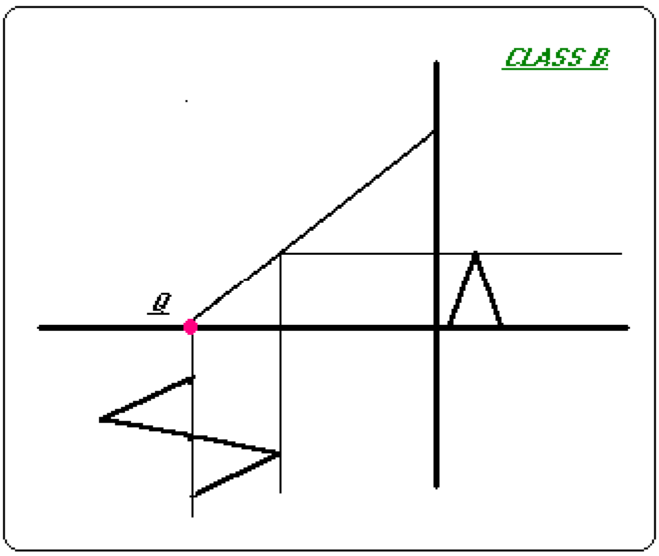
الصنف A:

وهو مضخم تكون فيه نقطة العمل (في المنتصف) وإشارة الدخل مستمرة مع الزمن ، وهي مثل دارة الخرج (في المجمع ، الصمام ، المصرف)، المضخم صنف A يعمل بشكل أساسي على الجزء الخطي من الميزة حسب الشكل :

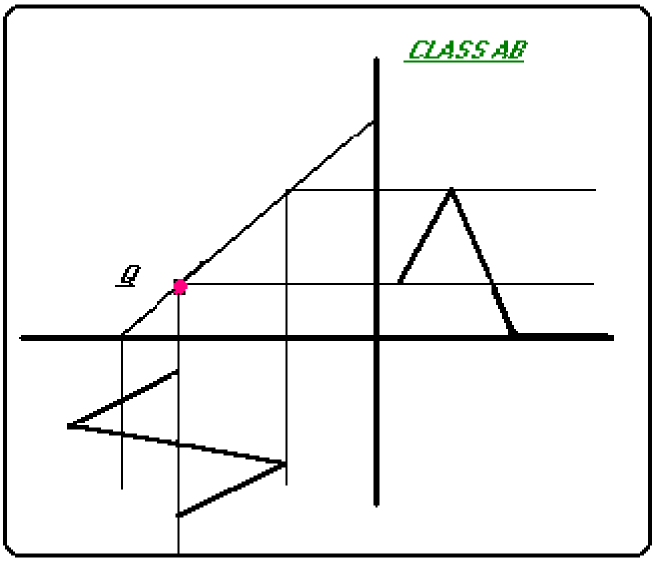


الصنف:B

وهو مضخم تكون فيه نقطة العمل في النهاية القصوى من الميزة لذلك فان الاستطاعة تكون صغيرة جدا لذلك فان التيار الساكن أو الجهد الساكن تقريبا معدوم , فإذا كانت إشارة الجهد جيبية فان التضخيم سيتم على نصف دورة فقط . حسب الشكل:

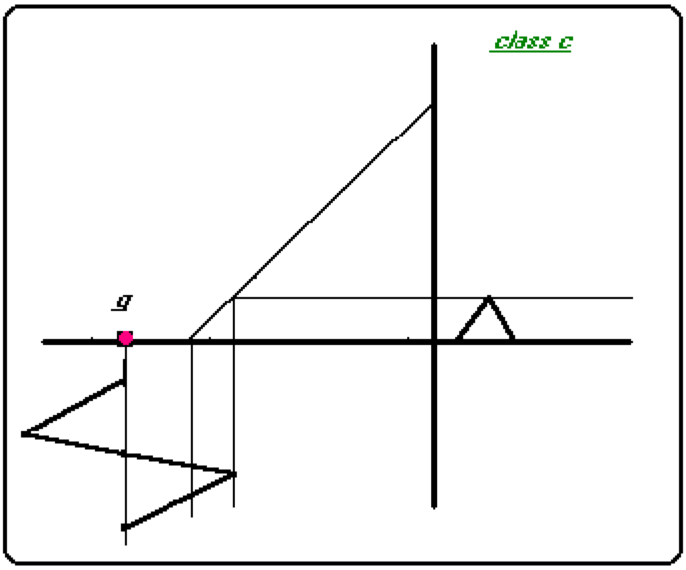


الصنف AB



تكون فيه نقطة العمل بين نقطتي العمل في التعريفين السابقين لذلك فان إشارة الخرج معدومة من اجل جزء اقل من نصف الإشارة الجيبية للدخل حسب الشكل:

الصنف:C



وهو مضخم يتم فيه اختيار نقطة العمل بحيث يكون تيار أو جهد الخرج فيه معدوم من اجل مقدار اكبر من نصف إشارة الدخل الجيبية حسب الشكل:

تطبيقات المضخمات:

إن التصنيف وفقاً للاستخدام يتضمن الجهد، الاستطاعة، التيار، والمضخمات ذات الأهداف العامة..
شكل عام فان حمل المضخم عبارة عن ممانعة، والحالتين الخاصتين الأكثر أهمية هما:
حمل مقاوم مثالي ... ودارة مولفة تعمل قرب تردد الطنين...
تستخدم مضخمات من صنف B & AB في مضخمات الاستطاعة غير المولفة بينما عمل مضخم صنف C مستخدم في مضخمات الترددات الراديوية المولفة.
العديد من الوظائف الهامة لتغيير شكل الموجة يمكن إنجازها بواسطة مضخمات سريعة من صنفB OR C ..

التشويه في المضخمات :

إن تطبيق إشارة جيبية على دخل مضخم مثالي صنف A سينتج عنه موجة خرج جيبية ، وبشكل عام فان شكل موجة الخرج ليس نسخة طبق الأصل عن شكل موجة الدخل:

- بسبب النماذج المتنوعة للتشويه التي يمكن أن تظهر.
- بسبب عدم الخطية المتأصلة في ميزات الترانزستور .
- بسبب تأثير الدارة المتعلقة بالمضخم .

إن أنماط التشويه التي ربما توجد بشكل منفرد أو مع بعضها وتدعى بالتشويه اللاخطي ,التشويه الترددي، التشويه الناتج عن التأخير الزمني....
التشويه اللاخطي : ينتج عن وجود ترددات جديدة في الخرج والتي لم تكن موجودة في إشارة الدخل , وهذه الترددات الجديدة أو التوافقيات ناتجة عن وجود المنحني الديناميكي اللاخطي للعناصر الفعالة..

التشويه الترددي : يظهر هذا التشويه عندما تضخم ترددات مختلفة لمكونات الإشارة بشكل مختلف ، إن هذا التشويه في الترانزستور يمكن أن ينتج عن السعات الداخلية للعنصر أو قد يظهر بسبب رد فعل الدارة المتعلقة بالمضخم (ربط العناصر ، الحمل) ، تحت هذه الظروف فان الربح A يكون عدد عقدي له طويلة وزاوية تعتمد على تردد الإشارة المطبقة ، الرسم البياني للربح , Vs تردد المضخم يدعى بميزة الاستجابة الترددية المطالية .
إذا لم يكن هذا الرسم البياني خط مستقيم أفقي على مجال الترددات المعتبرة فان الدارة تبدي تشويه ترددي على هذا المجال .

التشويه الناتج عن التأخير : يدعى بتشويه الإزاحة الطورية ، وهو ينتج عن الإزاحات الطورية غير المتساوية لإشارات ذات ترددات مختلفة.
يعود هذا التشويه إلى حقيقة أن زاوية الطور للربح المعقد A تعتمد على التردد.

مضخمات التيار المستمر والمتناوب الترانزستورية

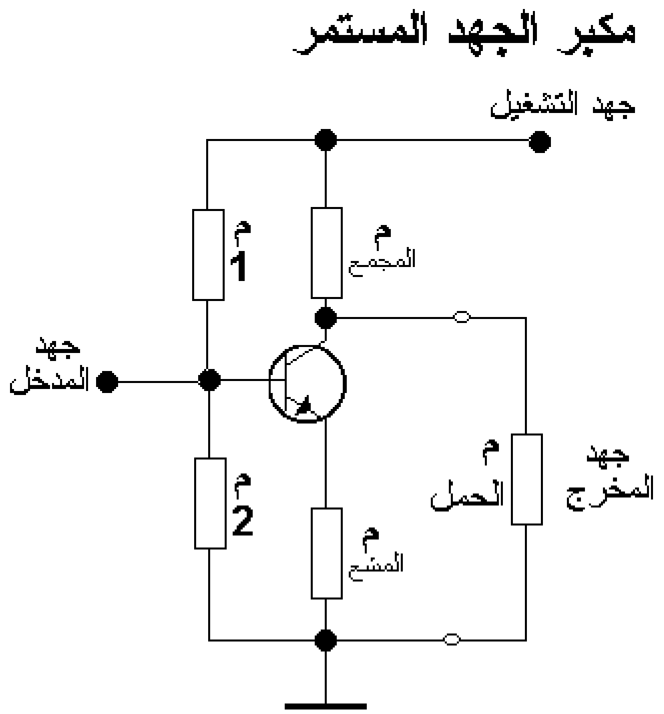
الدوائر المكبرة: رغم التقدم السريع للدوائر المتكاملة فإن الترانزيستور ثنائي القطبية لم يزل وسيظل كمكون مفرد مهم وضروري في الدوائر الإليكترونية، خاصة في حل مشاكل الملائمة بين مداخل ومخارج الدوائر المتكاملة. ويستعمل الترانزيستور كثيرا في الدوائر المكبرة المختلفة، وهي تنقسم إلى:

مكبرات جهد مستمر..... مكبرات جهد متردد..... مكبرات قدرة..... مكبرات تعشيق..

تستعمل "مكبرات الجهد المتناوب" لتكبير إشارات التردد وذلك من بداية سلم التردد وحتى نطاق فوق جيجا هرتز أما "مكبرات الجهد المستمر" فتستعمل لنقل الجهد وتكون دون مكونات تتأثر بالتردد كالمكثف والملف . وتستعمل "مكبرات القدرة" (ذو

تيارات مجمع عالية) للإشارة ذات الاستطاعة العالية ، أما "مكبرات التعشيق" (ذو التيارات العالية وسريعة التعشيق) تستعمل لتوجيه إشارة جهد مربع الشكل (أي أيضا ما يستعمل في الدوائر الرقمية مثل الحاسب) .

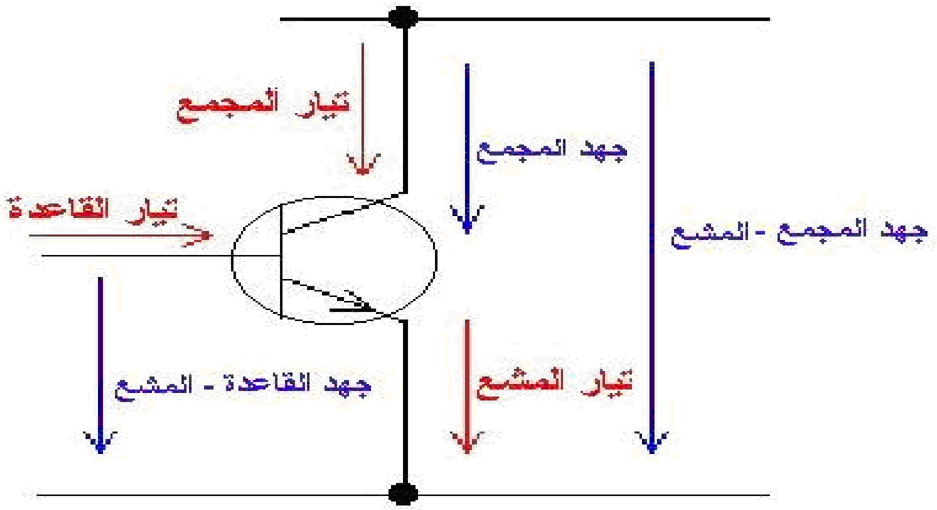
مكبر الجهد المستمر:



عامل تكبير الجهد = (عامل تكبير التيار القصري (h21e) X مقاومة المجمع) / (مقاومة القصر للمدخل (h11e) + (h21e) X مقاومة المجمع)

يتم تقسيم الجهد المطلوب للقاعدة عن طريق المقاومات م ١ و م٢، ولكي تستتب وتُثبت نقطة التشغيل حراريا فتستعمل لهذا السبب مقاومة المشع، ولا يوضع مكثف حول أو بدل مقاومة المشع لسبب عدم تأثر المكبر بالتردد.

إن عامل التكبير للجهد المستمر هو ضئيل وأقل بكثير من الجهد المتناوب وبنفس المكبر، ولا يتبقى لرفع عامل التكبير إلا توصيل عدداً من المراحل المتتالية. وهنا تبدأ إحدى المشاكل المهمة للإليكترونيات، وهي "الملائمة" حيث أنه عندما تتوالى مراحل التكبير واحدة تلو الأخرى تكون فروق في الملائمة للطاقة بين المدخل والمخرج بالإضافة للمؤثرات الحرارية التي تأثر على "نقطة التشغيل". ولاًحقا سوف يتم معالجة مراحل التكبير ذو التوصيل المختلف.



جهد المجمع و المشع = جهد القاعدة و المشع + الجهد بين المجمع و القاعدة

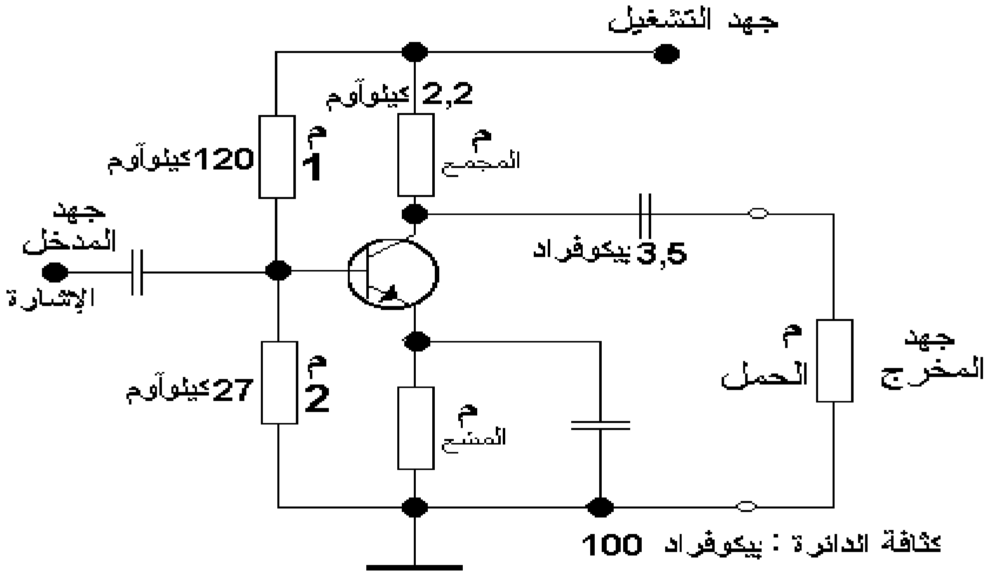
(-) تيار المشع = تيار المجمع + تيار القاعدة

مكبر الجهد المتناوب:

تصنف مكبرات الجهد المتناوب إلى نوعان : الأول "مكبر الحزمة العريضة" والذي يكبر نطاق كبير من الترددات ، أي مثل "المكبر السمعي" الذي يكبر جميع الترددات التي تستطيع الأذن البشرية سماعها (من ٢٠ هرتز إلى ٢٠ كيلو هرتز ، ٢٠ آلف هرتز تقريبا) ، والنوع الثاني هو "مكبر محدد التردد" وكما يعرف الاسم فهو يكبر حزمة رفيعة للتردد ٧٠٠ ميجا هرتز مثلا، ويستعمل في التردد العالي .

مكبر الجهد المتردد

المكبر السمعي

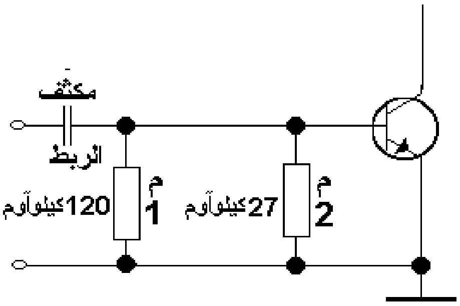


ولحساب تردد الإشارة الملتقطة معادلة التردد :

$$\text{التردد} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \text{المقاومة} \cdot \text{المكثف}}$$

ولمكبر الحزمة العريضة (من ٢٠ هرتز إلى ٢٠ كيلو هرتز) ، أي خلال التصميم أو الحساب يجب أخذ ترددان بعين الاعتبار "الحد الأسفل لتردد " و "الحد الأعلى للتردد" ، وبناءا على ذلك يتم حسب ما يسمى بدائرة "المرشحات" وهي عبارة عن دائرة مكثف ومقاومة مثلا ، تُدخل حزمة التردد المطلوب إلى مرحلة التكبير ، فمثلا "مرشح الترددات العالية" يدخل الترددات العلية فقط ويحجز الترددات المنخفضة، بينما " مرشح الترددات المنخفضة" يُدخل الترددات المنخفضة ويحجز الترددات العالية.
وفي حالة المكبر أعلاه يتشكل "مرشح الترددات العالية" في مدخل المكبر من المقاومة والكثافة في المدخل ، أي أن "الحد الأسفل لتردد المرشح" وهي (٢٠هرتز) تتشكل من مكثف المدخل (الذي يسمى مكثف الربط أو اللقط ، لأنه يلتقط الإشارة) والمقومة ١ بالإضافة لمقاومة مدخل الترانزيستور، ولتحديد قيمة مكثف المدخل مثلا :

الحد الأسفل للتردد



معادلة التردد :

$$\text{التردد} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \text{المقاومة} \cdot \text{المكثف}}$$

$$\text{الحد الأسفل لتردد} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \text{مقومة المدخل} \cdot \text{مكثف المدخل}}$$

$$\text{مكثف المدخل} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \text{مقومة المدخل} \cdot \text{الحد الأسفل للتردد}}$$

$$\text{مكثف المدخل} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 2,4\ \text{كيلوآوم} \cdot 20\ \text{هرتز}} = 3,3\ \text{مايكرو فراد}$$

للملائمة ثلاثة أنواع :

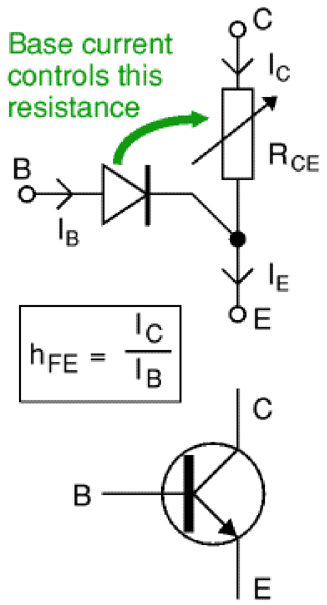
ملائمة الجهد: تكون فيه مقاومة الحمل أكبر من مقاومة الداخلية للمصدر..

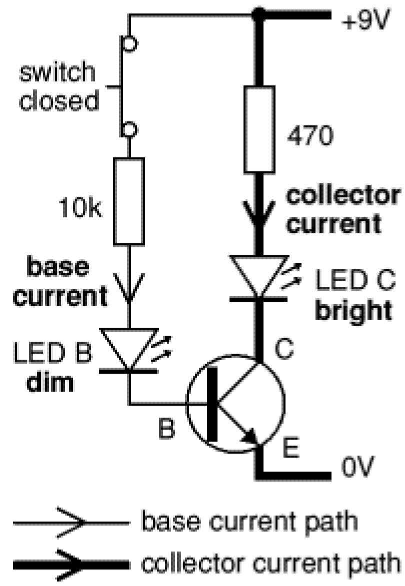
ملائمة التيار: تكون فيه مقاومة الحمل أصغر من مقاومة الداخلية للمصدر..

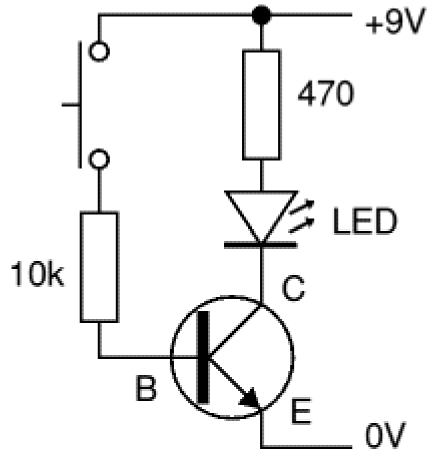
ملائمة القدرة: تكون فيه مقاومة الحمل متساوية مع المقاومة الداخلية للمصدر..

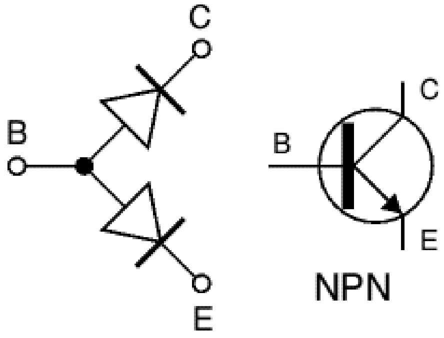
ضبط نقطة التشغيل في الترانزيستور :

هي الوصول إلى الشكل المثالي للموجة في مخرج الترانزيستور ..
وتتشكل نقطة التشغيل من الجهود التالية للترانزيستور : جهد القاعدة - المشع وجهد المجمع - المشع ، ويكوّن الجهد بين المجمع والمشع فرق الجهد بين جهد التشغيل وبين ما ينحدر من جهد في المقاومتين ، أي يكبر نصف الموجة فقط ، عندما تكون نقطة تشغيل الترانزيستور بالضبط عند انطواء المنحنى الخاص له .









طرق فحص الترانزستور ومعرفة نوعه :

الترانزستور كما رأينا على نوعين :

١. NPN: ويكون سهم الباعث متجه نحو الخارج.

٢. PNP: ويكون سهم الباعث نحو الداخل.

يمثل الترانزستور بديودين موصولين على التضاد ..

قبل فحص الترانزستور يجب علينا معرفة أقطابه ويمكننا ذلك من خلال مقياس الآفو متر على مجال الأوم كمايلي:

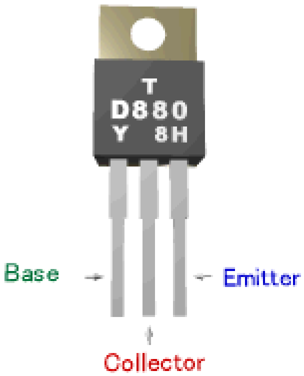
- بين القاعدة وكل من المجمع والباعث مقاومة منخفضة / في حال التوصيل الأمامي / أي يؤشر المؤشر أما إذا عكسنا الأقطاب فيشير إلى مقاومة لا نهائية أي لا يؤشر المؤشر .
- بين الباعث و المجمع مقاومة مرتفعة في كلا الحالتين ..

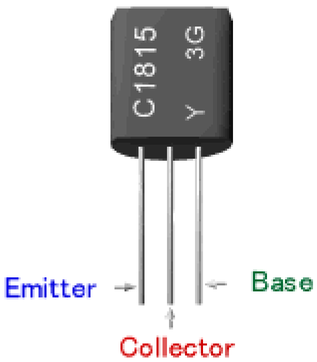
كما يمكننا معرفة نوعه (NPN , PNP) وذلك :

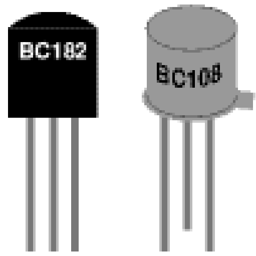
- إذا كان القطب الموجب للمقياس موجوداً على القاعدة عندما تعطي مقاومة منخفضة مع المجمع والباعث فالترانزستور نوع (NPN) ..
- أما إذا كان القطب السالب للمقياس موجوداً على القاعدة عندما تعطي مقاومة منخفضة مع المجمع والباعث فالترانزستور نوع (PNP) ..

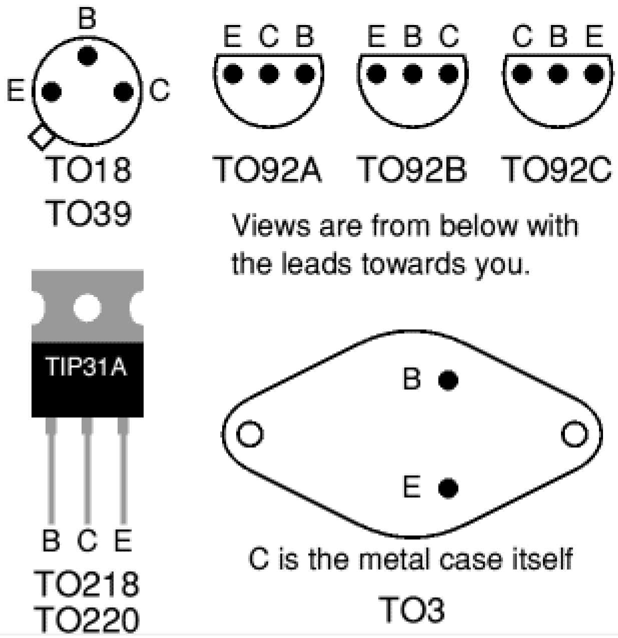
ملاحظات على الترانزستور :

- يوجد لدينا نوع من الترانزستورات المعدنية مثلاً (BC140 أو BC107) يكون فيها الطرف الذي يحوي نتوء هو المشع ، والطرف الموصول مع الجسم هو المجمع ، والطرف الثالث هو القاعدة ..
- الترانزستور الضوئي يكون له مجمع و باعث ونافذة ضوئية ، فالمجمع هو الذي وصل مع الجسم إن كان معدنياً ..
- يوجد نوع من الترانزستورات المعدنية يحوي على طرفان هما الباعث و القاعدة أما المجمع فيكون هو جسم الترانزستور المعدني كالترانزستور (2N3055) ..







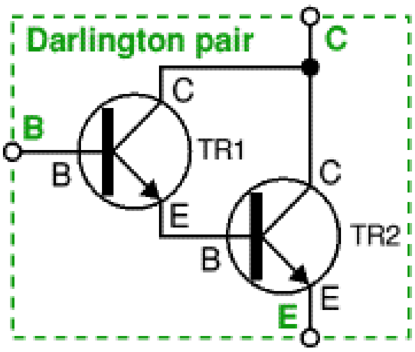


NPN transistors								
Code	Structure	Case style	I_C max	V_{CE} max	h_{FE} min	P_{tot} max	Category (typical use)	Possible substitutes
BC107	NPN	TO18	100mA	45V	110	300mW	Audio, low power	BC182 BC547
BC108	NPN	TO18	100mA	20V	110	300mW	General purpose, low power	BC108C BC183 BC548
BC108C	NPN	TO18	100mA	20V	420	600mW	General purpose, low power	
BC109	NPN	TO18	200mA	20V	200	300mW	Audio (low noise), low power	BC184 BC549
BC182	NPN	TO92C	100mA	50V	100	350mW	General purpose, low power	BC107 BC182L

BC182L	NPN	TO92 A	100mA	50V	100	350mW	General purpose, low power	BC107 BC182
BC547B	NPN	TO92 C	100mA	45V	200	500mW	Audio, low power	BC107B
BC548B	NPN	TO92 C	100mA	30V	220	500mW	General purpose, low power	BC108B
BC549B	NPN	TO92 C	100mA	30V	240	625mW	Audio (low noise), low power	BC109
2N3053	NPN	TO39	700mA	40V	50	500mW	General purpose, low power	BFY51
BFY51	NPN	TO39	1A	30V	40	800mW	General purpose, medium power	BC639
BC639	NPN	TO92 A	1A	80V	40	800mW	General purpose, medium power	BFY51
TIP29A	NPN	TO220	1A	60V	40	30W	General purpose, high power	
TIP31A	NPN	TO220	3A	60V	10	40W	General purpose, high power	TIP31C TIP41A
TIP31C	NPN	TO220	3A	100V	10	40W	General purpose, high power	TIP31A TIP41A
TIP41A	NPN	TO220	6A	60V	15	65W	General purpose, high power	
2N3055	NPN	TO3	15A	60V	20	117W	General purpose, high power	
								PNP transistors
Code	Structure	Case style	I_C max	V_{CE} max	h_{FE} min	P_{tot} max	Category (typical use)	Possible substitutes
BC177	PNP	TO18	100mA	45V	125	300mW	Audio, low power	BC477
BC178	PNP	TO18	200m	25V	120	600mW	General purpose,	BC478

			A				low power	
BC179	PNP	TO18	200mA	20V	180	600mW	Audio (low noise), low power	
BC477	PNP	TO18	150mA	80V	125	360mW	Audio, low power	BC177
BC478	PNP	TO18	150mA	40V	125	360mW	General purpose, low power	BC178
TIP32A	PNP	TO220	3A	60V	25	40W	General purpose, high power	TIP32C

الترانزستور دارلنغتون (Darlington)



وهو عبارة عن ترانزستورين بغلاف واحد وفقط بثلاث أطراف خارجية ، ويمتاز بربح تيار علي (10000) ، وباستقرارية عالية ..

إن القيمة الفعالة لـ (hfe) أكبر بكثير من (hfe) لترانزستور واحد ولذلك نحصل على ربح تيار عالي ..

يتوفر هذا الترانزستور بالنوعين (D-npn) و(D-pnp) ..

يمكن الحصول على ترانزستور دارلنكتون من ترانزستورين ، وكمثال على ذلك :

- For TR1 use BC548B with $h_{FE1} = 220$.
- For TR2 use BC639 with $h_{FE2} = 40$.

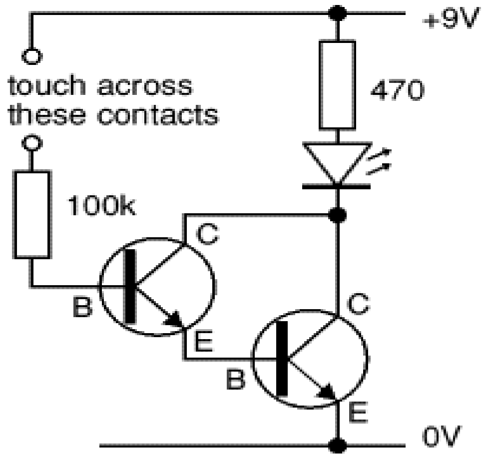
وبالتالي فإن الربح العام لهذا الترانزستور هو :

$$hfe = h_{FE1} \times h_{FE2} = 220 \times 40 = 8800.$$

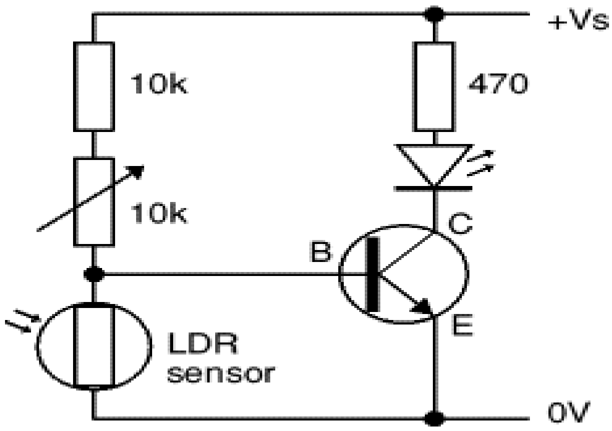
وإن استطاعة تيار الخرج الأعظمي للترانزستور الجديد هي نفسها تيار المجمع للترانزستور الثاني TR2 ..

إن حده القاعدة اللازم لفتح هذا الترانزستور هو (0.7+0.7=1.4)..

إن هذا الترانزستور يمكن أن يستخدم كمفتاح حساس جداً ، بما فيه الكفاية للاستجابة لتيار صغير جداً يمكن أن يكون ناتجاً عن ملمس الجلد البشري وكمثال عليه الدارة التالية (مفتاح يعمل بالملمس):



المقاومة (100K) تحمي الترانزستور عن حصول تلامس مباشر مع منبع التغذية نتيجة قصر بسلك ..



LED lights when the LDR is dark

Choosing a suitable NPN transistor :

1. The transistor's maximum collector current I_C (max) must be greater than the load current I_C.

$$\text{load current } I_C = \frac{\text{supply voltage } V_s}{\text{load resistance } R_L}$$

2. The transistor's minimum current gain h_{FE} (min) must be at least five times the load current I_C divided by the maximum output current from the chip.

$$h_{FE}(\text{min}) > 5 \times \frac{\text{load current } I_C}{\text{Max. chip current}}$$

3. Choose a transistor which meets these requirements and make a note of its properties: I_C (max) and h_{FE} (min).

4. Calculate an approximate value for the base resistor:

$$R_B = 0.2 \times R_L \times h_{FE} \quad \text{or} \quad R_B = \frac{V_s \times h_{FE}}{5 \times I_C}$$

5. And choose the nearest standard value.

6. Finally, remember that if the load is a motor or relay coil a protection diode is required.

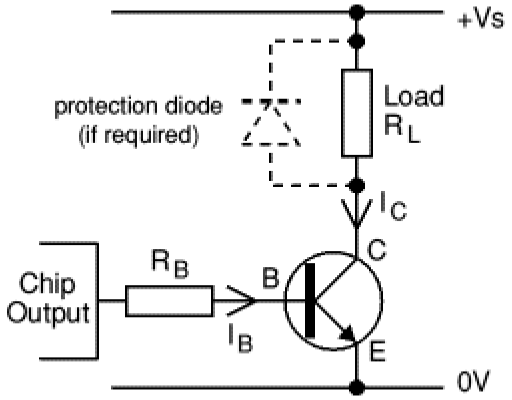
Example

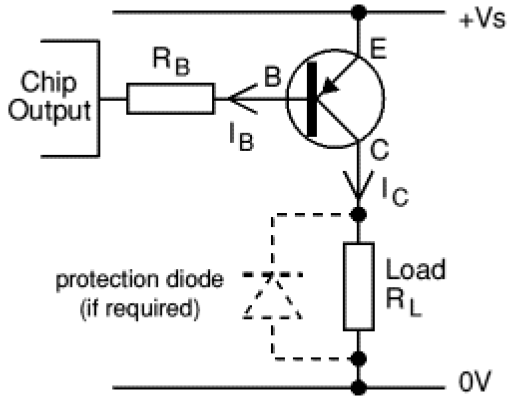
The output from a 4000 series CMOS chip is required to operate a relay with a 100Ω coil. The supply voltage is 6V and the chip can supply a maximum current of 5mA.

1. Load current = V_s/R_L = 6/100 = 0.06A = 60mA, so transistor must have I_C (max) > 60mA.
2. The maximum current from the chip is 5mA, so transistor must have h_{FE} (min) > 60 (5 × 60mA/5mA).
3. Choose general purpose low power transistor BC182 with I_C (max) = 100mA and h_{FE} (min) = 100.
4. $R_B = 0.2 \times R_L \times h_{FE} = 0.2 \times 100 \times 100 = 2000\Omega$. So choose R_B = 1k8 or 2k2.
5. The relay coil requires a protection diode.

Choosing a suitable PNP transistor:

The procedure for choosing a suitable PNP transistor is exactly the same as that for an NPN transistor described above.





NPN transistor switch

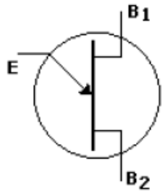
(load is on when chip output is high)

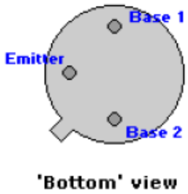
PNP transistor switch

(load is on when chip output is low)

الترانزستور وحيد الوصلة (U.J.T)

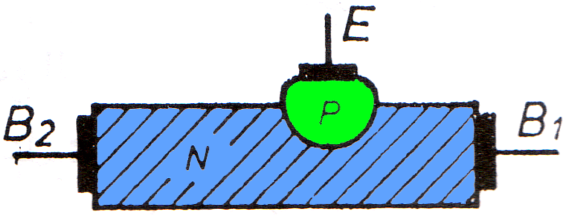
بنية الترانزيستور وحيدة الوصلة :





يعتبر الترانزيستور وحيدة الوصلة (U.J.T) من العناصر الهامة الشائعة الاستعمال في دارات توليد النبضات ودارات التوقيت ودارات كشف المستوى ، كما أنه يستخدم كمفاتيح متحكم بها جهدياً ولا يستخدم كمضخم .، وكلمة (U.J.T) مشتقة من الكلمة الانكليزية (Uni-junction Transistor) ..

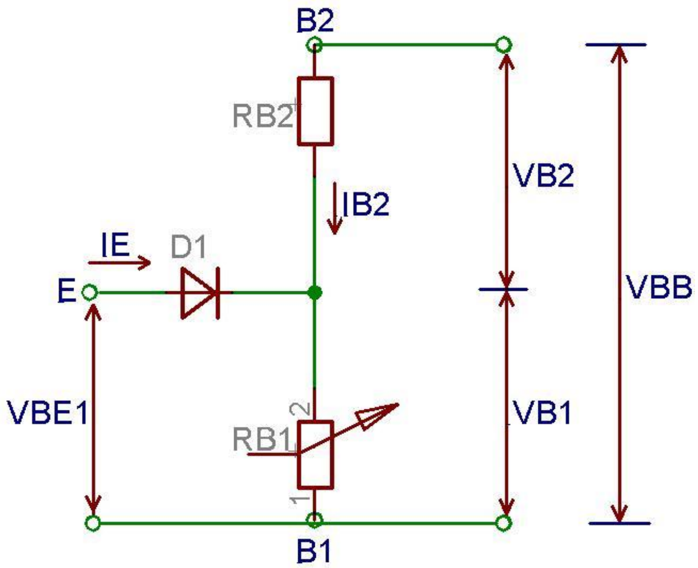
يتكون ترانزيستور وحيد الوصلة من قضيب من السيليسيوم نصف الناقل نوع (N) ، يوضع وصلتان في نهايتيه لتشكيل القاعدتين (B2 - B1) ، لذلك يسمى أحياناً بالترانزيستور ذو القاعدتين ، وتوضع طبقة سيليسيوم نصف ناقل نوع (P) في نقطة متوسطة بين القاعدتين أقرب إلى (B1) منها إلى (B2) لتشكل مشع الترانزيستور .



الدارة المكافئة لترانزيستور وحيد الوصلة :

يبين الشكل ، الدارة المكافئة لترانزيستور وحيد الوصلة حيث يمكن اعتباره مبدئياً مكوناً من :

- مقاومة (RB1) تتشكل من القسم بين المشع (E) والقاعدة (B1) .
- مقاومة (RB2) تتشكل من القسم بين المشع (E) والقاعدة (B2) .
- ثنائي بين المشع (E) الذي يشكل المنطقة (B) للثنائي وجسم الترانزيستور الذي يشكل المنطقة (N) للثنائي .



يطبق كمون التغذية (VBB) بين القاعدتين على أن يكون انحياز (استقطاب) (B2) موجباً بالنسبة إلى (B1) وعلى ذلك يصبح كمون الوصلة (VB1) بين المشع (E) والقاعدة (B1) عبارة عن جزء من كمون التغذية (VBB) ويعطى بالعلاقة :

$$V_{B1} = \eta \,.\, V_{BB}$$

وتأخذ (η) قيماً أقل من الواحد دائماً ، وتتوقف على موقع المشع على قضيب السيليسيوم .

نميز الآن الحالتين التاليتين :

١. كمون المشع (E) أصغر من (VB1) : تصبح الوصلة بين (E) و (B1) في حالة توصيل عكسي ويمر في الوصلة تيار تسريب صغير وتصبح المقاومة بين القاعدتين كبيرة .

٢. كمون المشع (E) أكبر من (VB1) : تصبح الوصلة بين (E) و (B1) في حالة توصيل أمامي ويمر تيار كبير من الفراغات من المنطقة (P) باتجاه المنطقة (N) ومن الالكترونات الحرة من المنطقة (N) باتجاه المنطقة (P) فتصغر بذلك المقاومة بين القاعدتين كثيراً ، لذلك يمكن اعتبار الوصلة بين المشع (E) والقاعدة (B1) مقاومة متغيرة تعتمد في قيمتها على انحياز (استقطاب) المشع .

تتراوح قيمة المقاومة بين القاعدتين في الترانزيستور وحيد الوصلة من (K5) إلى (10 K) ويمكن حساب قيمة الكمون (VB1) بالاستعانة بقانون أوم كما يلي :

$$V_{B1} = \frac{R_{B1}}{R_{B1} + R_{B2}} . V_{BB}$$

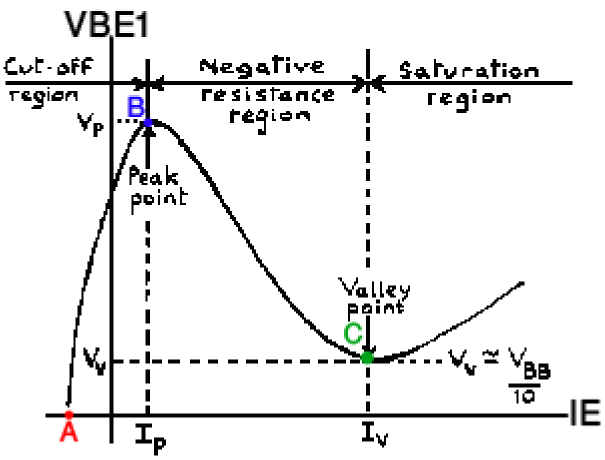
إن الكمون اللازم حتى يصبح الترانزيستور وحيد الوصلة في حالة توصيل يساوي الكمون (الساكن المستمر) على المقاومة (RB1) مضافاً إليه كمون الانحياز الأمامي والذي يساوي لثنائيات السيليسيوم حوالي (VD=0.7V) ..
إذاً :

$$V_P = V_D + \eta . V_{BB}$$

يسمى الكمون (VP) كون القمة أو التشغيل ..

مثال : في الدارة المكافئة السابقة إذا كان كمون التغذية (VBB=30V) ، وكمون الانحياز الأمامي للثنائي (VD=0.7V) ، وإذا علمت أن (η=0.6) ، أحسب قيمة كمون القمة (VP) ..
الحل :
VP=VD+η.VBB=0.7+(0.6x30)
VP=0.7+18=18.7V

منحنيات الخواص المميزة للترانزستور وحيد الوصلة :
إذا جعلنا كمون دخل الترانزستور (VEB1) في الدارة المكافئة السابقة يتغير بدءً من الصفر بقيم متزايدة ..
عندما يكون كمون الدخل (VEB1) مساوياً الصفر ، فإنه يمر في الترانزستور تيار تسريب عكسي تحدد قيمته على المنحني بالنقطة (A) ..
إن الزيادة المستمرة في الكمون (VEB1) تؤدي إلى نقصان تيار التسريب . وعندما يصبح كمون الدخل مساوياً فرق الكمون بين طرفي المقاومة (RB1) يصبح تيار التسريب مساوياً الصفر ويكون الترانزستور مازال مغلقاً وتحدد هذه النقطة بتقاطع منحني الخواص مع المحور (VEB1) .

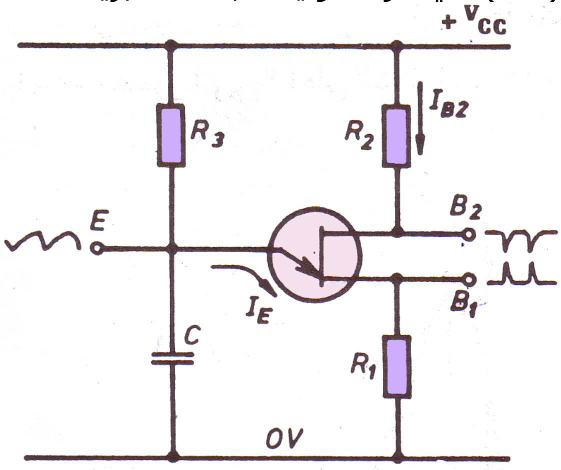


تؤدي الزيادة المستمرة في الكمون (VEB1) إلى مرور تيار في الاتجاه الأمامي ، وعندما يصبح الكمون (VEB1) مساوياً كمون القمة (VP) يفتح الترانزستور ، وعندها ينخفض فرق الكمون بين المشع (E) والقاعدة (B1) ويمر تيار كبير في الترانزستور .

تؤدي الزيادة في التيار إلى نقصان فرق الكمون بين المشع والقاعدة (B1) لذلك يمثل الترانزستور في المنطقة الواصلة بين النقطتين (B) و (C) على المنحني بالمقاومة السالبة .
تسمى النقطة (C) بنقطة الانعطاف ، ويسمى الكمون (Vv) بكمون الانعطاف .
تشبه خواص الترانزستور وحيد الوصلة في نقطة الانعطاف خواص الثنائي العادي حيث يكون (من عند نقطة الانعطاف وما بعدها) كل زيادة في الكمون يقابلها زيادة في التيار .

مولد نبضات أبرية :

يستخدم الترانزستور وحيد الوصلة (UJT) في دارات توليد النبضات الأبرية الشكل ذات اتجاهين موجب وسالب ..



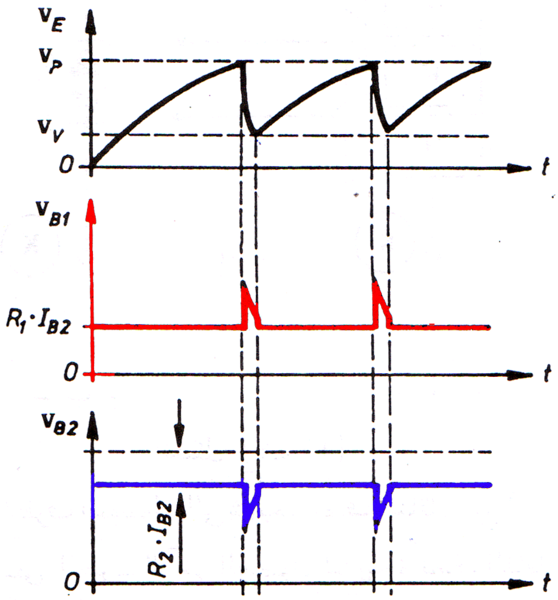
تمثل المقاومة (R2) حمل قاعدة الترانزستور (B1) ، والمقاومة (R1) حمل القاعدة (B1) .
يتم توصيل كمون التغذية لمشع الترانزيستور وحيد الوصلة عن طريق دارة التكامل المؤلفة من المقاومة (R3) والمكثف (C) .
عند وصل كمون التغذية ، يكون تيار المشع مساوياً الصفر بالبدء ، ويمر في قضيب السيليسيوم بين القاعدتين تيار صغير مقداره (IB2) فيصبح كمون القاعدة (B1) :

$$V_{B1} = I_{B2}.R_1$$

وكذلك يصبح كمون القاعدة (B2) :

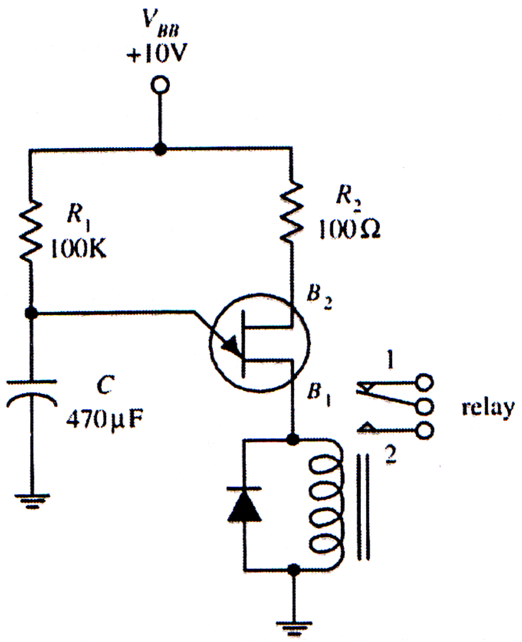
$$V_{B2} = V_{CC} - I_{B2}.R_2$$

حيث يكون كمون كل من القاعدتين مستمر .
يكون فرق الكمون بين طرفي المكثف (C) في لحظة توصيل كمون التغذية مساوياً الصفر ولكنه لا يستمر هكذا وإنما يبدأ المكثف بالشحن ويزداد فرق الكمون بين طرفيه بشكل غير خطي (منحن) ، وعندما يصبح فرق الكمون بين طرفي المكثف (C) مساوياً كمون (VP) يفتح الترانزيستور ، إذ يصبح التوصيل أمامياً بين المشع والقاعدة (B1) ، لذلك يبدأ المكثف (C) بتفريغ شحنته بشكل مفاجئ وسريع في المشع ، ويزداد التيار المار في الترانزيستور بشكل مفاجئ وسريع أيضاً ، وينخفض كمون (B2) أيضاً بشكل مفاجئ وسريع ، وبما أن تيار التفريغ يتناقص بسرعة كبيرة لذلك يأخذ كمون القاعدة (B1) شكل نبضات أبرية محملة على الكمون المستمر ، ويأخذ كمون القاعدة (B2) أيضاً شكل نبضات أبرية .
عندما يصبح كمون المكثف مساوياً إلى كمون الانعطاف (Vv) يقطع الترانزيستور ويبدأ المكثف بالشحن من جديد وتتكرر العملية السابقة .



يمكن التخلص من الكمون المستمر وذلك بأخذ من كل من القاعدتين عن طريق مكثف ربط يمنع مرور المركبة المستمرة ، ونحصل فقط على نبضات أبرية الشكل .

دارة قيادة حاكمة/مؤقت



تقود الدارة المعطاة في الشكل (86.4) الحاكمة وتجعلها تغيِّر وضعيات تماساتها بشكلٍ متعاقب ومتكرر. يُشحن المكثف (C) عبر المقاومة (R1) من مصدر الجُهد (V_{BB} = 10V) وعندما يصبح جهد المكثف مساوياً جهد القدح تزداد ناقلية الوصلة (E) إلى (B1) ويمر تيار عبر ملف الحاكمة وتغيِّر الحاكمة وضع التماس إلى الموقع (2)، وعندما يفرِّغ المكثف ينخفض الجهد على الباعث (E) إلى ما دون مستوى القدح ويُقطع الترانزستور (يعود إلى حالة off) وتعود الحاكمة إلى حالة الراحة ويرجع تماس الحاكمة المتحرك إلى الوضع (1). تتحكم المقاومة (R1) بمعدَّل شحن المكثف كما يتحدد مقدار جهد القدح بسعة المكثف (C). إذن (C) يؤثر أيضاً على معدَّل الشحن.

فحص ترانزيستور وحيد الوصلة UJT :

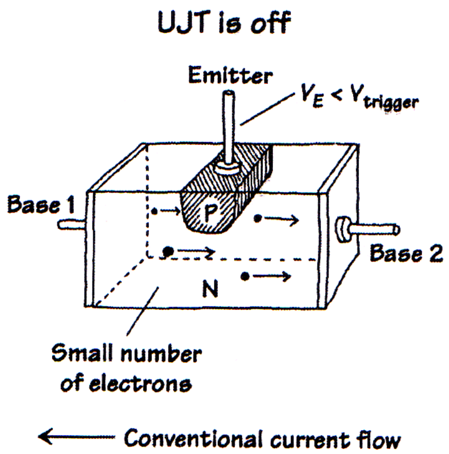
نجرى عمليات الفحص باستخدام مقياس آفو رقمي على مجال قياس الأوم . الشكل الأكثر استخداماً هو 2N2646 الذي تصنعُهُ شركة Motorola ..

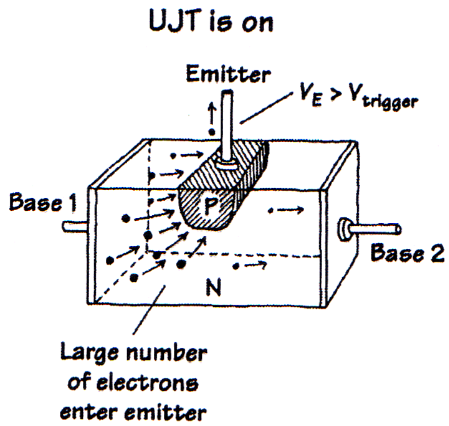
عمليّة فحص UJT سهلة إذا عرفت كيفية إجراؤها ..

ضع مقياس الآفو الرقمي على وضع قياس الأوم ، اقرأ المقاومة بين القاعدة الأولى Base1 والقاعدة الثانية Base2 ، ثمَّ اعكِس وضع الأسلاك و خُذ قراءة أخرى ، لا بُدَّ أن تتساوى القراءتين تقريباً على قيمة مقاومة مرتفِعة .

وصِّل الآن السلك السالِب (-) من مقياس الآفو إلى باعِث الترانزيستور ، وباستخدام السلك الموجِب (+) قُم بقياس المُقاومة من الباعِث إلى القاعدة Base1 و من الباعِث إلى القاعدة Base2 ، لا بُدَّ أن تتساوى القراءتان تقريباً على قيَم مُقاومة مرتفِعة .

وصِّل السلك الموجِب إلى الباعِث بدلاً من السالِب ، و قُم بقياس المُقاومة بين الباعِث وكل من القاعدتين Base1 و Base2 ، لا بُدَّ أن تتساوى القراءتين تقريباً على قيَم مقاومة منخفِضة .



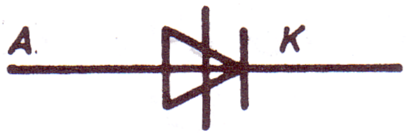


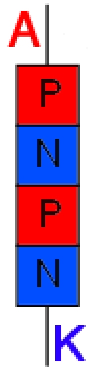
الثنائي رباعي الطبقات

بنية ثنائي رباعي الطبقات:

يسمى ثنائي رباعي الطبقات أيضاً باسم ثنائي إعادة الوضع يصنع من السيليسيوم وترتب الطبقات نصف الناقلة كما في الشكل :



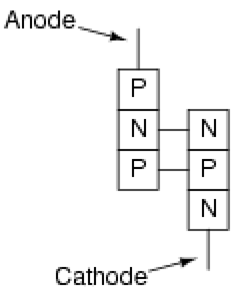




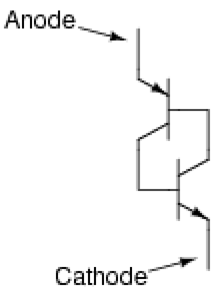
يسمى الطرف الموصول إلى شريحة نصف الناقل من نوع P بالمصعد، وأما الطرف الموصول إلى شريحة نصف الناقل من نوع N بالمهبط ..

تكون الدارة المكافئة لثنائي رباعي الطبقات عبارة عن ثلاث ثنائيات موصولة مع بعضها البعض على التسلسل كما في الشكل السابق ..

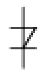
كما يرمز لثنائي رباعي الطبقات بالرمز :



Physical diagram



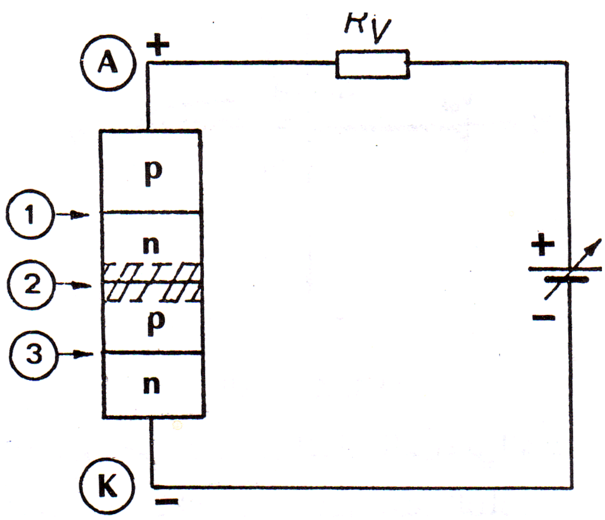
Equivalent schematic



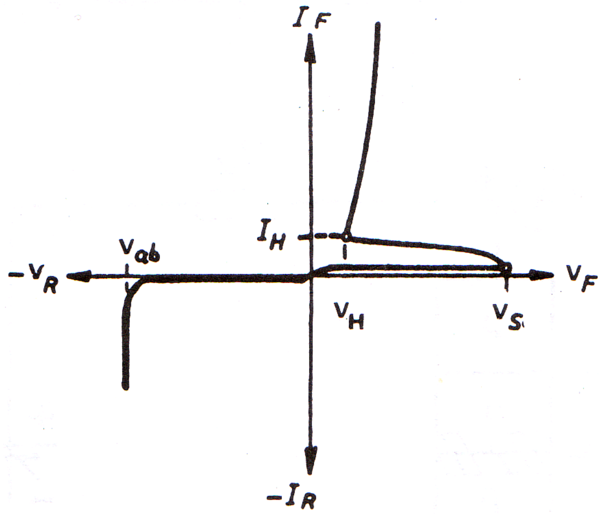
Schematic symbol

منحنيات خواص ثنائي رباعيات الطبقات :

نصل القطب الموجب لمنبع التغذية عن طريق المقاومة Rv إلى مصعد الثنائي والقطب السالب إلى المهبط ..



يكون الثنائيان عندها D1 و D3 موصولان أمامياً لذلك تزول منطقة الفصل بين الشرائح ، ويكون D2 محيز عكسياً ، ومع زيادة الكمون تزداد منطقة الفصل ، وعندما يصبح فرق الكمون بين طرفي الثنائي D2 مساوياً إلى كمون الانهيار Vs يفتح الثنائي ويسمح بمرور التيار من خلاله ، عندها ينخفض فرق الكمون بين طرفي الثنائي إلى القيمة VH ويمر فيه تيار IH .
إن أي زيادة بسيطة في الكمون أعلى من VH سيقابلها زيادة كبيرة في التيار الأمامي IH ، ويبقى الثنائي موصلاً إلى أن ينخفض فرق الكمون بين طرفيه إلى أقل من VH لذلك يسمى الكمون VH كمون التوقف ، و IH تيار التوقف ..



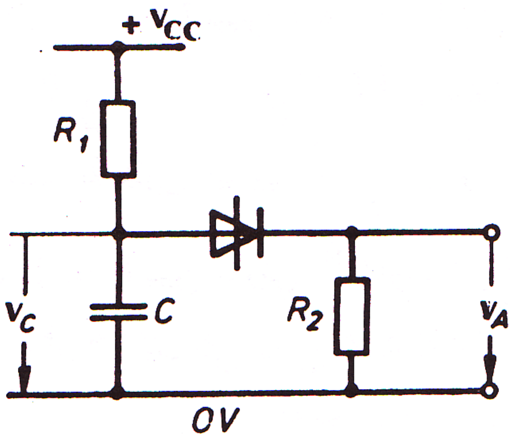
أما إذا عكسنا توصيل منبع التغذية يكون الثنائي D1 و D3 في حالة توصيل عكسي و D2 في حالة توصيل أمامي وإذا زادت قيمة الكمون العكسي إلى القيمة Vab ينهار الثنائي مما يؤدي إلى مرور تيار كبير فيه يؤدي إلى تلفه .

مجال استخدام ثنائي رباعي الأقطاب :

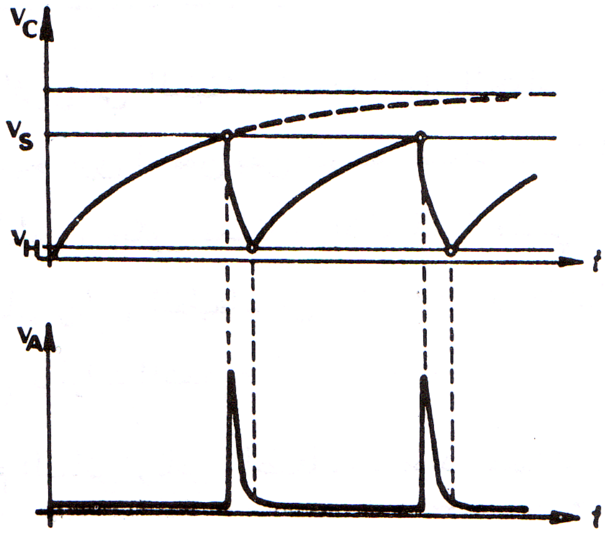
١. يستخدم ثنائي رباعي الطبقات كمفتح لتيار المتناوب ذو اتجاه واحد، إذ عندما يصبح فرق الكمون بين طرفيه مساوياً Vs يفتح ويمرر تيار في الاتجاه الأمامي ، ويكون مغلقاً في الاتجاه المعاكس .
٢. يستخدم في دارات توليد الإشارات الأبرية والمثلثية والنبضية في دارات التحكم .

مولد نبضات أبرية باستخدام الثنائي رباعي الطبقات:

يوصل كمون التغذية (Vcc) في الدارة المبينة في الشكل إلى مصعد الثنائي رباعي الطبقات عن طريق دارة تكامل مكونة من المقاومة (R1) والمكثف (c) .



يكون فرق الكمون بين طرفي المكثف في بدء التوصيل مساوياً الصفر، ثم يبدأ المكثف بالشحن ويأخذ فرق الكمون بين طرفيه شكل منحن أسي كما في الشكل ، وعندما يصبح فرق الكمون بين طرفي المكثف (c) مساوياً كمون الانهيار الأمامي (Vs) ، يفتح الثنائي رباعي الطبقات وتصبح مقاومته الأمامية صغيرة ويبدأ المكثف (C) بتفريغ شحنته ، حيث يكون تيار التفريغ كبيراً في البداية ، ويمر في المقاومة (R2) مشكلاً بين طرفيها فرق كمون ذو قيمة كبيرة ، وبعدها تبدأ قيمة التيار بالتناقص بسرعة كبيرة ، فيتناقص فرق الكمون بين طرفي المقاومة (R2) بسرعة كبيرة أيضاً .



يعتمد الزمن اللازم لشحن المكثف على قيمة المقاومة (R1) وسـعة المكثـف (C) ، فكلمـا كانـت قيمـة المقاومـة (R1) كبيرة كلما كان الزمن اللازم حتى يصل فرق الكمون بين طرفي المكثف (C) إلى القيمة (Vs) أكبـر ، وكـذلك يعتمد زمن التفريغ على قيمة المقاومة (R2) ، فعندما تكون قيمتها صغيرة يكون زمن التفريغ صغيراً .

تأخذ إشارة الخرج (VA) بين طرفي المقاومة (R2) شكل نبضات أبرية، وللحصول على نبضات أبرية حـادة يجـب أن تكون قيمة المقاومة (R2) أصغر بكثير من المقاومة (R1) .

عندما يصبح فرق الكمون بين طرفي المكثف (C) مسـاوياً (VH) يقطـع الثنـائي ربـاعي الطبقـات وتصـبح مقاومتـه كبيرة جداً ويتوقف المكثف (C) عن التفريغ ويبدأ بالشحن من جديد وتتكرر العملية السابقة.

تستعمل مثل هذه النبضات الأبرية للتحكم بعمل الثايرستور أو الترياك .